

**Lalə Məmmədova  
Teymur İlyashı  
Mələhət Bağiyeva**

---

---

# **RADİASIYA KİMYASI**

*qısa kurs*

---

---

*Bakı Dövlət Universiteti  
Kimya fakültəsi  
Elmi Şuranın  
24 noyabr 2005-ci il  
7 sayılı protokolu və*

*Bakı Dövlət Universiteti  
Kimya fakültəsi  
Metodiki Şuranın  
20 noyabr 2005-ci il  
5 sayılı protokolu*

*ilə təsdiq edilmişdir*

---

---

**Bakı – 2007**

BBK17.1  
M-22

Elmi redaktor: kimya elmləri namizədi Allazov M.R.

Rəyçilər: kimya elmləri doktoru, prof. Əliyev İ.İ.  
kimya elmləri namizədi Əliyeva Q.M.

ISBN 5-8066-1782-3

Materialın şərhı zamanı materiyanın diskretliyi məsələlərinə: nüvə quruluşu haqqında müasir anlayışlar, kimyəvi elementlərin xassələrinin nüvənin quruluşundan dövrü asılılığı, nüvə reaksiyaları və s. böyük diqqət verilmişdir. Müxtəlif şüalanmaların maddələrə təsiri, mayelərdə, qazlarda və bərk maddələrdə radiasiya-kimyəvi qarşılıqlı təsir, radiasiya-kimyəvi reaksiyaların növləri, tətbiqi radiasiya kimyasının problemləri kimi məsələlərə müasir nöqtəyi-nəzərdən baxılmışdır. Bu kitabda Azərbaycanın radioaktiv zəhərlənmə və radiasiya şəraiti problemlərinə lazımi diqqət ayrılmışdır.

Bu kitab kimya və tətbiqi kimya ixtisaslarına yiyələnən bakalavr, magistr və habelə biologiya, ekologiya, geologiya və coğrafiya ilə məşğul olan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Təkliflərinizi [ORXAN133Baku@rambler.ru](mailto:ORXAN133Baku@rambler.ru) ünvanına göndərməyinizi xahiş edirik.

1701000000  
M - 655(07) - 2006

Bakı Dövlət Universiteti  
ELMI KİTAPXANANA

© L.Məmmədova, T.İlyashi, M.Bağiyeva, 2006

## MÜNDƏRİCAT

<b>GİRİŞ</b> .....	8
<b>I FƏSİL</b> .....	9
<b>D.İ.MENDELEYEVİN DÖVRİ SİSTEMİ MATERİYANIN DİSKRETLYİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ ÜÇÜN ƏSASDIR</b> .....	
Atom kimyəvi sistematikanın əsası kimi .....	9
Atomun quruluşu kimyəvi sistematikanın əsasıdır.....	10
Elektron qılaflarının quruluşu kimyəvi sistemləşmənin əsası kimi.....	16
Nüvənin quruluşu kimyəvi sistemləşmənin əsası kimi.....	17
Nüvənin keyfiyyət xarakteristikası	
Nüvənin energetik xarakteristikası	
Nuklonların quruluşu kimyəvi sistemləşmənin əsasıdır?.....	28
Əsaslı qarşılıqlı təsirlərin növləri	
Kvarkların sərbəstlik dərəcəsi	
Neytronun tərkibi	
Protonun tərkibi	
<b>II FƏSİL</b> .....	
<b>NÜVƏ REAKSİYALARI</b> .....	43
Nüvələrin parçalanması.....	44
$\alpha$ -parçalanma	
$\beta$ -parçalanma	
Nüvələrin spontan (öz-özünə) bölünməsi	
Nüvələrin qarşılıqlı təsiri.....	57
Elektron tutulması $\epsilon$ , yaxud orbital tutulması	
Neytron tutulması	
Zəncirvari nüvə reaksiyaları	
Təbii radioaktivlik	
Süni radioaktivlik	

### **III FƏSİL**

#### **ŞÜALANMA NÖVLƏRİNİN MADDƏLƏRƏ**

#### **TƏSİRİ..... 69**

Yüklü ağır hissəciklərin maddələrə təsiri..... 70

Neytronların maddəyə təsiri..... 74

    Qüvvətli səpələnmə

    Zəif səpələnmə

    Nüvənin neytronları udması (absorbsiyası)

    Nüvənin bölünməsi

Maddələrə elektronların təsiri..... 78

    Elektronların nüvə ilə qarşılıqlı təsiri

    Elektronların elektron qılafları ilə qarşılıqlı təsiri

Maddəyə pozitronun təsiri..... 81

Maddəyə fotonların təsiri..... 83

    Fotonlarla nüvələrin qarşılıqlı təsiri

    Fotonların atomların elektron qılafları ilə qarşılıqlı təsiri

### **IV FƏSİL**

#### **RADİASİYA-KİMYƏVİ REAKSİYALAR..... 87**

Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların energetik xarakteristikaları..... 88

    Radiasiya-kimyəvi çıxım

    İon çıxımı

    Kvant çıxımı

    Rada

    Radiasiya-kimyəvi prosesin çıxımı

Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların mexanizmi..... 91

    Atom və molekulların həyəcanlanması

    RKR-nın ion mexanizmi

    RKR-nın radikal mexanizmi

### **V FƏSİL**

#### **MAYELƏRDƏ RADİASİYA-KİMYƏVİ TƏSİR..... 103**

Mayenin aqreqat halının radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri..... 103

Suyun radiolizi..... 106

    Radiolizin fiziki mərhələsi

Fiziki-kimyəvi mərhələ	
Radiolizin kimyəvi mərhələsi	
Hidratlaşmış elektron.....	119
Hidratlaşmış elektronun kimyəvi alınma üsulları	
Hidratlaşmış elektronun elektrokimyəvi alınma üsulu	
Hidratlaşmış elektronun kimyəvi xassələri	

## VI FƏSİL

<b>QAZLARDA RADİASIYA-KİMYƏVİ TƏSİR.....</b>	<b>130</b>
Qazların aqreqat halının radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri.....	130
Yüksək təzyiqlərdə qazların radiolizi	
Seyrək qazlarda radioliz	
Qazların təbiətinin radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri.....	133
Qazların radiolizinin yüksüz məhsulları	
Qazların radiolizinin yüklü məhsulları	
Azot və oksigen qarışığının radiolizi	
Ozon molekulunun əmələ gəlməsi	
Karbon qazının radiolizi	
Azot oksidinin (+4) radiolizi	

## VII FƏSİL

<b>BƏRK MADDƏLƏRDƏ RADİASIYA-KİMYƏVİ TƏSİR.....</b>	<b>150</b>
Bərk maddələrin quruluşunun radiasiya kimyəvi əlaqələrə təsiri.....	150
Bərk maddələrin tərkibinin radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri.....	153

## VIII FƏSİL

<b>ZƏNCİRVARİ RADİASIYA-KİMYƏVİ REAKSİYALAR.....</b>	<b>158</b>
Budaqlanmamış zəncirvari radiasiya-kimyəvi reaksiyalar.....	159
Radikal mexanizm	
İon mexanizmi	

Budaqlanmış zəncirvari radiasiya-kimyəvi reaksiyalar.....	163
Radikal mexanizm	
İon mexanizmi	

## **IX FƏSİL**

<b>POLİMERLƏRİN RADİASIYA KİMYASI.....</b>	<b>167</b>
Radiasiya-kimyəvi polimerləşmə.....	167
Calaq sopolimerləşmə	
Blokopolimerləşmə	
Polimerlərin radiasiya-kimyəvi modifikasiyası.....	170
Polietilen ion mexanizmlı modifikasiyası	
Polietilenin radikal mexanizmlı modifikasiyası	

## **X FƏSİL**

<b>TƏTBİQİ RADİASIYA KİMYASI.....</b>	<b>175</b>
Tətbiqi radiasiya kimyasının əsasları.....	175
Tətbiqi radiasiya kimyasının vəzifələri.....	176
Tətbiqi radiasiya kimyasının xüsusiyyətləri.....	177
Radiasiya kimyası texnologiyasının üstünlükləri	
Radiasiya kimyası texnologiyasının nöqsanları	
Paralel radiasiya-kimyəvi üsullar.....	181
Sadə paralel radiasiya-kimyəvi metodlar	
Kombinasiya edilmiş (uyğunlaşdırılmış, birləşdirilmiş)	
paralel radiasiya-kimyəvi reaksiyalar	
Orijinal radiasiya-kimyəvi üsullar.....	198
Polimerlərin radiasiya-kimyəvi modifikasiyası	
Lak-boya texnologiyasında radiasiya kimyası	

## **XI FƏSİL**

<b>RADİOAKTİV ÇİRKLƏNMƏ PROBLEMLƏRİ.....</b>	<b>201</b>
Şüalanma mənbələrinin növləri.....	201
Şüalanma miqdarı (dozası).....	201
Udulan doza (miqdar)	
Ekspozisiya (təsir) miqdarı (dozası)	

Ekvivalent doza	
Dozanın gücü	
Kerma	
Effektiv ekvivalent doza	
Effektiv kollektiv ekvivalent doza	
Gözlənilən effektiv kollektiv ekvivalent doza	
Təbii şüalanma mənbələri.....	206
İlkin kosmik şüalanma	
İkinci dərəcəli kosmik şüalanma	
Yerdəki şüalanma mənbələri	
Texnogen şüa mənbələri.....	224
Yanacaq kompleksi	
Nüvə partlayışları	
Atom energetikası	
Atom obyektlərində qəzalar	
Radioaktiv tullantılar	
Nüvə tullantılarının emalı	
Nüvə tullantılarının nəqli (daşınması)	
Nüvə tullantılarının anbarları	
Nüvə tullantılarının basdırılması	
Tibbdə istifadə olunması	
Elmi-tədqiqat işlərində və məişətdə istifadə	

## **XII FƏSİL**

<b>AZƏRBAYCANDA RADİASIYA ŞƏRAİTİ.....</b>	<b>240</b>
Radiasiyanın təbii səviyyəsi.....	240
Texnogen radiasiya mənbələri.....	242
Neftin hasilatı və nəqli (daşınması)	
Abşeronda yod istehsalı	
Neft sənayesi tullantıları	
Digər radioaktiv tullantılar	

<b>ƏDƏBİYYAT .....</b>	<b>254</b>
------------------------	------------

## GİRİŞ

*"Elm adamları yalnız hər hansı bir adamın ideyasından yox, həmin problem üzərində düşünən minlərlə adamın ümumi müdrikiyindən asılı olmalı və hər bir kəs böyük elm binasına öz payını əlavə etməlidir."*

*E.Rezerford*

Radiasiya kimyası öz mövcudluğu üçün nüvə fizikasına borcludur. XX əsrdə nüvənin verdiyi çox böyük enerji demək olar ki, bütün elm sahələrinin – fizika və kimyadan başlamış sosiologiya və iqtisadiyyata qədər – tədqiqat obyektinə çevrildi.

Fizika və kimyanın vəzifəsi iki elmin qovuşduğu hadisələrin öyrənilməsi zamanı haçalandı. Fiziklər radiasiyadan müdafiə axtarışlarında kimyaçıları yalnız köməkçi kimi qəbul edirdilər. Kimyaçılara isə radiasiya kimyəvi reaksiyaların gedişində enerji kimi lazım idi. Beləliklə də "şüalanmadan müdafiə" tezisini "şüalanmadan istifadə" antitezisinə çevirən radiasiya kimyası tətbiqi elmdən kimyanın tamhüquqlu bölməsinə kimi böyük təkamül yolu keçdi.

Hazırda kimyəvi reaksiyaların gedişində istifadə olunan enerjiden asılı olaraq kimya aşağıdakı bölmələrə ayrılır:

- termokimya (istilik enerjisi)
- elektrokimya (elektrik enerjisi)
- fotokimya (atom enerjisi)
- radiasiya kimyası (atom nüvəsinin enerjisi)

Radiasiya kimyası şüalanmanın maddələrə təsiri və ondakı çevrilmələri öyrənən elmdir.



## I FƏSİL

### D.İ.MENDELEYEVİN DÖVRI SİSTEMİ MATERİYANIN DİSKRETLYİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ ÜÇÜN ƏSASDIR

#### **Atom kimyəvi sistematikanın əsası kimi**

Mendeleyevə qədərki dövrdə kəşf olunmuş elementlərin sistemləşdirilməsi cəhdləri kimyəvi elementlərin klassifikasiyalaşdırılmasından ibarət idi. Bu tədqiqatlar yalnız kimyəvi elementlərin xassələrindəki fərqlərin axtarışına əsaslanırdı. Lakin qanunauyğunluqların klassifikasiyalardan fərqi əksliklərin vəhdəti prinsipinin axtarışlarındadır.

Öz sələflərindən fərqli olaraq, D.İ.Mendeleyevi kimyəvi çevrilmələrdəki "digər xassələrin də asılı ola biləcəyi" müəyyən bir stabil ümumi xassə maraqlandırır. Məhz buna görə də D.İ. Mendeleyevin kimyəvi elementlərin və onların birləşmələrinin dövri dəyişən xassələrinin atomların atom çəkirlərindən asılılığı barədə gəlidiyi nəticə qanun şəkli almışdır.

Bu mülahizə dövri sistemin inkişafının birinci – kimyəvi mərhələsidir. Müəllif hər hansı bir atomun xarakteristikası üçün onun başlıca xassəsini – çəkisini əsas götürmüşdür, çünki çəkinin kəmiyyətə dəyişməsi keyfiyyətin, yəni yeni atomların yaranmasının bünövrəsidir.

## **Atomun quruluşu kimyəvi sistematikanın əsasıdır**

XIX əsrdə atomu Daltonun təbirincə kiçik və dəyişməz hissəcik kimi qəbul edirdilər.

Elə bu zaman İngiltərənin koloniyası olan Yeni Zelandiyada, daha doğrusu onun yeganə universiteti olan Kenterberi kollecində elmi cəmiyyətin yığıncağında 20 yaşlı tələbə "Elementlərin təkamülü" adlı məruzə ilə çıxış etdi. Onun səsləndirdiyi inqilabi fikir – "atomlar mürəkkəb quruluşa malikdir və eyni hissəciklərdən ibarətdir" fikri auditoriyanı hiddətləndirdi və onu peşəkar olmayan bir şəxs kimi kənarlaşdırmaq tələb olundu. Çıxış edən özü də çox pərt oldu. Bu tələbə Ernest Rezerford idi. Sonradan o, irəli sürdüyü fikrin isbatına bütün ömrünü həsr etdi.

Elektronun kəşfinə hələ 6 il qalırdı. Bu zaman Kembriçdə qazların elektrik keçiriciliyinin tədqiqi zamanı C.C.Tomson katod şüalarını müşahidə etdi. Çox tezliklə – 1895-ci ildə, qazboşalma borularından elektrik cərəyanı buraxarkən, Rentgen naməlum şüalar kəşf etdi. Bu şüalar katod şüalarından fərqli olaraq anodda əmələ gəlirdilər.

Tomson öz assistenti Rezerfordla birgə rentgen şüalarını tədqiq edərkən elektronu kəşf etdilər. Bu da atomun bölünən olduğu mülahizəsinin sübutu oldu.

Tomson atom üçün model təklif edir və bununla da kimyəvi elementlərin xassələrinin dövriliyinin onların quruluşu ilə bağlı olduğunu sübut etməyə cəhd edir. Tomsona görə atom bərabər paylanmış müsbət yüklə yüklənmiş sferadır və ətrafında mənfi yüklü elektronlar həlqələr şəklində qruplaşmışdır. Həlqələr müəyyən bir səthdə yerləşir və müəyyən sayda elektrona malikdir. Atom çəkisinin artması ilə həlqələrdəki elektronların sayı artır.

Nəinki atomun, hətta nüvənin də bölünən olmasını sübut edən kəşflər də özünü çox gözletmədi. Fosforessensiya problemləri ilə məşğul olarkən Bekkerel 1896-cı ildə uran birləşmələrinin buraxdığı şüaları kəşf etdi. Bu şüalar qeyri-adi xassələrə malikdirlər. Əgər məlum hadisələr – lüminessensiya və fosforessensiya hər hansı bir enerji mənbəyinin təsirindən baş verdiyi halda "bekkerel" şüaları heç bir enerjisiz özlərini biruzə verirlər. Onlar qeyri-şəffaf cisimlərdən və qara kağızdan keçir və işıq şüaları kimi fotolövhə üzərində iz qoyur.



*Bu şüalanı hansı enerjiden qidalanır? Nə üçün onun intensivliyi heç bir zaman dəyişmir?*

*Bu suallara cavab axtarışı ilə nəinki Bekkerel, həm də digər sahələrdə çalışan alimlər də məşğul olurdular.*

*Tezliklə Pyer Kuri və Mariya Skladovskaya Kuri yeni radioaktiv elementlərin – radium və poloniumun kəşfi barədə məlumat verdilər və yeni termin – radioaktivlik termini yaratdılar. Bunun ardınca isə bu şüalanmaya müvafiq olan elektrik yükləri, radioaktiv maddələrin özbaşına işıq verməsi barədə məlumatlar verdilər. Məlum oldu ki, radioaktivliyi törədən səbəb radioaktiv atomların özbaşına parçalanmasıdır.*

Beləliklə, XX əsrin əvvəlində kimyəvi bölünməz hissəciyin – atomun bölünən olması ideyası artıq bərqərar oldu. Məhz buna görə də dövrü qanunun sonrakı inkişafı estafet kimi kimyaçılardan fiziklərə keçdi. Onlar atomun quruluşunda kimyəvi elementlərin xassələrinin dövrü dəyişməsinə səbəb ola biləcək yeni keyfiyyətlər axtarmağa başladılar.

Rezerford - atom hansı quruluşa malikdir? - sualına cavab vermək üçün atomun bölünən olduğunu sübut edən radioaktivliyin tədqiqi ilə məşğul oldu. O, Makdonaldın laboratoriyalarında (Kanada) radioaktivliyin tədqiqi üzrə dünya mərkəzi yaratdı.

Bu tədqiqatların nəticəsi olaraq Rezerfordla Soddi 1903-cü ildə radioaktiv parçalanma nəzəriyyəsini irəli sürdülər. Kruksun təcrübələri əsasında onlar müəyyən etdilər ki, radioaktivlik qeyri-sabit atomların sabit vəziyyətə keçmək

cəhdləri ilə yaranır.

XX əsrin əvvəlində fiziklər arasında ən geniş yayılmış ideya Perrenin atomun quruluşunun günəş sistemine bənzədilməsi müddəası oldu.

Bu müddəanı təsdiq edən təcrübələr Rezerfordun assistenti Marsdenə məxsusdur.



*aleyhinə idi.*

*Rezerford həmin modelin yaradıcısı sayıldığına baxmayaraq,  $\alpha$ -hissəciklərin böyük bucaq altında səpələnməsi üzrə tədqiqatların*

*Xırda bir pambıq parçaya 15 düyməlik mərmə ilə necə atəş açmaq olar ki, o, sıçrayaraq sizə dəysin? Atomun Tomson modelinin tərəfdarı olan Rezerford bunu anlaya bilmirdi. Bununla belə o, 1908-ci ildə Marsden və Heygerə təcrübələr aparmağa razılıq verdi. Məşhur alim Rezerford vaxtilə tələbə Rezerforda inam olmadığını yaxşı xatırlayırdı. Elə o vaxtdan Rezerford hesab edirdi ki, elm adamları yalnız hər hansı bir adamın ideyasından yox, həmin problem üzərində düşüən minlərlə adamın ümumi müdrikliyindən asılı olmalı və hər bir kəs böyük elm binasına öz payını əlavə etməlidir.*

Marsdenin massiv (ağır) nöqtəvari nüvənin mövcudluğunu sübut edən eksperimenti atomun yeni modelinin əsası oldu. 1911-ci ildə Rezerford atomun planetar modelini təklif etdi. Onun fikrincə, atom boşluqdan(!), müsbət yüklənmiş nüvədən və müxtəlif orbitlərdə fırlanan mənfi yüklü elektronlardan ibarətdir. Eksperimentlərin göstərdiyi kimi nüvənin ölçüsü  $10^{-14} \div 10^{-15}$  m-dir.

Məhz nüvə atomun bütün kütləsini özündə cəmləşdirir ki, bu da onun başlıca xüsusiyyəti kimi Mendeleyevin kimyəvi elementlərin sistemləşdirməsində əsas olmuşdur. Elə buna görə də nüvənin kimyəvi elementlərin xassələrini müəyyənləşdirdiyini ehtimal etmək olar. Demək, ancaq nüvə atomun əsas xüsusiyyəti olmalıdır.

Əlbəttə Rezerford başa düşürdü ki, onun elektronların orbitlərdə hərəkəti barədəki fikri fizikanın məlum qanunlarına müvafiq deyil. Həqiqətən də, Maksvell qanunlarına görə elektron fırlandığı zaman enerji itirməli və bunun da nəticəsində Nyuton qanunlarına əsasən nüvənin üzərinə düşməli idi. Lakin bu təzad Rezerford üçün heç bir əhəmiyyət kəsb etmədi, çünki o, hələ tələbəlilik illərində irəli sürdüyü atomun bölünən olması iddiasını sübut etməyə müyəssər oldu. Ona görə də elektronun

orbitdə mövcudluğunun sabitliyi məsələsini gələcək tədqiqatlar üçün açıq hesab etdi.

1900-cü ildə Plankın çox qızmış (kızarmış) cisimlərin elektromaqnit dalğalarını şüalanma tezliyinə mütənasib olaraq hissə-hissə – kvantlarla şüalandırdığı və udduğu fikri meydana çıxdı:

$$E=h\nu,$$

burada  $h=0,66252 \cdot 10^{-33}$  C ·san (C – Coul).  $h$  kəmiyyəti Plank sabiti adını aldı.

Kvantlaşma ideyası fiziklər arasında özünə yalnız Eynşteyn 1905-ci ildə işığın quruluşunda tətbiq etdikdən sonra yer tapdı. O, işığın fasiləsizliyi təsəvvürü əvəzinə işıq "zərrəcikləri" – fotonlar anlayışını irəli sürdü. Eynşteynin təbircə, işıq – fiziki cəhətdən energetik zərrəciklər, yəni işıq kvantları ilə fəzada yayılan dalğa hadisəsidir. Bu fikir çox inqilabi olduğuna görə onu hətta kvantlaşma ideyasının müəllifi Plank belə qəbul etmədi. O, Eynşteynin fantaziya və ehtıkarlıq yolu seçdiyini bildirdi.

Kütlənin diskretliyi ilə yanaşı işıq enerjisinin də diskretliyi sübut olunduğu bir vaxtda Nils Bor 1913-cü ildə atom üçün yeni model təklif etdi. Burada Eynşteynin mülahizələrinin köməyi ilə atomun Rezerford modelinin uyğunsuzluğu ay-

dınlaşdırıldı. Atom ətrafında diskret orbitlərdə elektron fırlanan müsbət nüvədən ibarətdir.

Kvant mexanikasının banilərindən olan Heyzenberq hesab edirdi ki, bir halda ki, bütün atom və molekullar nüvədən və elektronlardan ibarətdir, deməli kvant mexanikasının əsas tənlikləri kimyanı tam əks etdirməlidir.



*Nüvənin əsas xarakteristikası kimi nəyi götürməli?*

*Mozliyə görə kimyəvi elementlərin sistemləşdirilməsində əsas nüvənin yüküdür. Onu nüvənin əsas xarakteristikası qəbul edirlər. Bruka görə nüvənin yükü elementin dövrü sistemdəki sıra nömrəsinə bərabərdir. Belə olan halda dövrü qanunun ikinci fiziki tərif belə səslənir: sadə elementlərin və onların birləşmələrinin xassələri atomun nüvəsinin yükündən asılıdır.*

İlk baxışdan elə görünə bilər ki, nəhayət kimyəvi fərdliyin əsası müəyyənləşdirilib, lakin alimlər səbəbi unudaraq yalnız nəticəni tədqiq edirlər.

**Elektron qılaflarının (örtüklərinin) quruluşu kimyəvi sistemləşmənin əsası kimi**

Nüvələrin və elektron qılaflarının yükü mütləq kəmiyyətə eynidir. Kvant mexanikası elektron qılaflarının quru-



luşunun tədqiqinə başladı. O, məntiqi olaraq elektron qılaflarının dövrü keyfiyyət dəyişmələrini nüvə yükünün keyfiyyət dəyişmələri ilə bağladı.

Mahiyyətə dövrü sistemin üçüncü kvant-mexaniki təfsiri atomun elektron qılaflarının quruluşunun aşkar misalı kimi təzahür edir. Kimyəvi elementlərin dövrü təkrar olunan xassələri məhz elektron qılaflarının dövrü təkrar olunan quruluşları ilə əlaqələndirildi.

Bunula yanaşı bilavasitə nüvənin quruluşunun tədqiqi ilə bağlı işlər davam etdirilirdi. Dövrü qanunauyğunluğun əmələ gəlmə səbəbinin axtarıları kimyəvi sistemləşmənin mənbəyi kimi nüvənin üzərinə qayıdır. Həqiqətən də, elektron qılaflarının quruluşunun dəyişməsi kimyəvi fərdiliyin itirilməsinə səbəb olmur, nüvənin yükünün dəyişməsi isə kimyəvi elementin çevrilməsinə gətirir.

### **Nüvənin quruluşu kimyəvi sistemləşmənin əsası kimi**

Hələ 1913-cü ildə Tomson nüvənin kütləsi ilə yükü arasında fərqi görmüş və aşkar etmişdi ki, nüvənin kütləsi onun yükü ilə təyin olunmur. O müəyyən etdi ki, eyni bir kimyəvi element müxtəlif kütləli atomdan ibarət ola bilər. Elə bu müddəə nüvə hissəciklərinin axtarışına səbəb oldu.

Radioaktiv parçalanma prosesinin tədiq edən Rezerford nüvədə kütləsi protonun kütləsinə bərabər olan neytral hissəciyin mövcudluğunu ehtimal edirdi. O nəinki nüvənin tərkib hissəsidir, həm də heç bir yük daşmadığına görə nüvənin öyrənilməsi üçün mühüm alətdir.

Bote və Bekker tərəfindən  $\alpha$ -hissəciklərin nazik berillium təbəqəsində səpələnməsi üzrə aparılan təcrübələrlə neytral hissəciklərin güclü şüalanması aşkar edilmişdir. Çedvik sübut edir ki, kütləsi təxminən hidrogen atomunun kütləsinə bərabər olan yeni yüksüz hissəcik kəşf olunmuşdur. Onu neytron adlandırdılar.

Daha sonra Heyzenberq və İvanenko bir-birindən xəbərsiz nüvənin proton və neytrondan ibarət olduğunu təsdiq edən proton-neytron modelini təklif etdilər. Onları nüvədə bir-birinə bağlayan qüvvələrə görə proton və neytron eyni kvant vəziyyətində olan hissəciklərdir və buna görə də onları bir adla – nuklon – adlandırdılar. Onları izospinlərin müxtəlif proyeksiyaları fərqləndirir.

Nüvənin sistematikasını üçün xarakteristikalar müəyyənləşdirilmişdi: keyfiyyət –  $Z, N, A, T_x$  və energetik –  $B, B/A, S_b$ . Məlum olduğu kimi, onlar atomların və onların birləşmələrinin fiziki, kimyəvi və bioloji xassələrini təyin edir.

### **Nüvənin keyfiyyət xarakteristikası**

Nüvənin tərkibini təyin edir:

$Z$  – nüvədə protonların sayı. Eyni yüklü nüvələri olan atomlar izotop adlanır;

$N$  – nüvədə neytronların sayı. Nüvəsində eyni sayda neytron olan atomlar izoton adlanır;

$A$  – kütlə ədədi, kütlənin miqdarına uyğun gələn tam ədəd, proton ( $p$ ) və neytronların ( $n$ ) cəminə bərabərdir. Eyni kütlə ədədli nüvələri olan atomlar izobar adlanır;

$T_{\xi} = (n - p)/2$  – neytron sayının proton sayından artıqlığı.

Nüvənin tərkibini sadalanan kəmiyyətlərdən hər hansı ikisini bilməklə təyin etmək olar.

1913-cü ildə Soddi radioaktiv elementlərin izotopları haqqında ilk məlumatı verdi. 1919-cu ildə isə Tomsonun işlərini davam etdirən şagirdi Aston sabit (stabil) elementlərin izotoplarını kəşf etdi. İzotop, izoton və izobarların mövcudluğu faktı sübut etdi ki, kimyəvi elementin fərdiliyini nüvənin kütləsi yox, ondakı protonların sayı müəyyən edir.

### **Nüvənin energetik xarakteristikası**

Energetik xarakteristika MeV ilə ifadə olunur. Bir eV  $1,6021 \cdot 10^{-19}$  C-a bərabərdir. Kütlə vahidi 931 MeV-a bərabərdir.

## **B – nüvənin enerjisi**

Bu enerji nüvənin hissəciklərə bölünməsi üçün lazım olan enerjidir.

Əgər

$$E=mc^2,$$

onda

$$B=\Delta mc^2,$$

burada  $\Delta m$  – nüvə kütləsinin defektidir, atom kütləsinin defekti kimi qeyri-additivdir.

Nüvəni təşkil edən hissəciklərin, nuklonların kütlə fərqi və nüvənin kütləsi nüvədəki nuklonların əlaqə enerjisi ilə ekvivalentdir. Onda yuxarıdakı ifadə belə şəkllə düşər:

$$B = [M_H Z + M_n N - M(Z, N)] c^2,$$

Burada  $M_H$  – neytral hidrogen atomunun kütləsi,  $M_n$  - neytronün kütləsi,  $M$  – neytral atomun kütləsidir.

Kütlə defekti yüngül atomlar üçün müsbət, ağır nüvələr üçün isə mənfi kəmiyyətdir. Əgər kütlə dəyişməsi enerji dəyişməsinə ekvivalentdirsə  $\Delta E = \Delta mc^2$ , onda yüngül atomların parçalanması reaksiyası üçün nüvənin əlaqə enerjisini  $B_{y.n.}$  (y.n. – yüngül nüvə) sərf etmək lazımdır, ağır nüvələrin parçalanması isə  $B_{a.n.}$  (a.n. – ağır nüvə) enerjisinin ayrılması ilə gedir.

**B/A – xüsusi əlaqə enerjisi**, yəni bir nuklona düşən əlaqə enerjisidir.

Yüngül nüvələr üçün bu kəmiyyətin kəskin dövriliyi aşkar görünür. Əvvəlcə nüvənin kütləsinin artması ilə onun qiyməti dövrü olaraq dəyişir. Helium nüvəsi üçün əlaqə enerjisi 7,1 MeV/nuklondur. Litium, berillium və borun yüngül nüvələri azdayanıqlıdır ki, bunu da onların təbiətdə yayılmaları qismən sübut edir. Əgər kömür, oksigen, neon, maqnezium, kükürd və kalsium nüvələri üçün maksimum dayanıqlıq xarakterikdirsə, minimum dayanıqlıq "skandium dağılmasını (iflasını)" xarakterizə edir.

Xüsusi əlaqə enerjisinin artması "dəmir maksimumuna" qədər davam edir. Dəmir üçün nüvə kütləsi defektinin maksimum xüsusi qiyməti 8,7 MeV/nuklondur. Deməli, Yer nüvəsinin dəmir və nikelədən ibarət olması heç də təsadüfi deyil.

Nüvə kütləsinin sonrakı artımı ilə bir nuklona düşən əlaqə enerjisi orta və ağır nüvələr üçün azalır,  $A > 100$  olduqda bu kəmiyyət praktiki olaraq sabitdir.  $A=90$ ,  $A=100$  və  $A=200$  olan hallarda da nisbi maksimumlar müşahidə olunur.

Görünür ki, sonuncu qanunauyğunluq bu elementlərin nüvələrini xarakterizə edən "sehrli" rəqəmlərlə bağlıdır. Radioaktiv uran nüvəsinin xüsusi əlaqə enerjisi 7,5 MeV/nuklondur.

### **$S_b$ – ayrılma enerjisi**

Bu enerji nüvə parçalanması zamanı nüvələrin sabitliyini xarakterizə edir. Bu kəmiyyət Z və N-nin qiymətindən dövrü olaraq asılıdır. Bu nüvənin iki hissəyə bölünməsinə kifayət edən ən az enerjidir. Bu hissələrdən biri ayrılan b hissəciyidir

$$S_b = [M_q + M_{y.n.} - M(Z, N)] c^2,$$

Burada  $M_q$  – qəlpənin kütləsi,  $M_{y.n.}$  – yeni nüvənin kütləsidir.

Nüvənin keyfiyyət və energetik xarakteristikalarının təyindən sonra, onların quruluş xarakteristikalarını aydınlaşdırmaq lazımdır.

Kimyəvi elementlərin xassələrin öyrənməklə nüvədə nuklonların necə yerləşməsi məsələsi aydınlaşdırıldı.

1933-cü ildə Eugen Pol Vaqner kvant mexanikasına riyaziyyatı tətbiq etməklə nüvənin energetik səviyyələrindən söhbət açdı. O sübut etdi ki, nuklonların arasında məsafə çox olduqda qarşılıqlı əlaqə qüvvələri həddindən az olur, məsafə

azaldıqca isə bu qüvvələr hədsiz çoxalır. Vaqner proton və neytronların xüsusilə dayanıqlı olan nüvələrin quruluşuna müvafiq olan "sehrli" sayını empirik olaraq təyin etmişdir. Bu tədqiqatlar nüvənin quruluşunun izah edilməsi cəhdlərində böyük təkən oldu, çünki müəyyən miqdarda proton və neytrona malik olan nüvələr xüsusi dayanıqlığa malikdir. Atomların xassələrinin dövrü dəyişməsinə nüvələrin dövrü təkrar olunan quruluşları ilə izah edirlər, yeni atomların yalnız keyfiyyət xarakteristikası yox, həm də kəmiyyət xarakteristikası onların fərdiliyini müəyyən edir. Ancaq dövrü sistemin növbəti modelində bu fikir özünü doğrultmadı.

1936-cı ildə Nils Bor nüvənin quruluşsuz modelini təklif etdi. Bunu təsadüf kimi qəbul etmək olmaz, çünki özünün təklif etdiyi tamamlamaq prinsipinə görə Bor proseslərin mikroaləmində gedən hadisələrin vizual şərhini rədd edir.

N.Bor nüvəni proton-neytron mayesinin rəqs edən damcısı kimi qəbul edir. Borun suyun səthi gərilməsi barədəki diplom işi onu nüvəni su damcısı ilə müqayisə etməyə sövq etmişdi. Borun təklif etdiyi hidrodinamik və ya damcı modelinə əsasən nüvədə nuklonlar nüvə qüvvələri ilə saxlanılır. Hər bir nuklon yalnız qonşu hissəciklə əlaqəyə girir. Səthdəki nuklonlar

nüvəyə tərəf dartınaraq səthi gərilmə yaradır. Nüvənin səthi öz rəqsləri ucbatından formasını dəyişir ki, bu da öz növbəsində nüvənin bölünməsinə gətirib çıxarır. Bu model bir çox təcrübi dəlilləri, məsələn, nüvənin həyəcanlanmış vəziyyət spektrini izah edə bilmir.

Kimyəvi elementlərin dövrü sistemi atomun quruluşunun açılmasında təbiətin dahiyənə təlqini olduğu kimi, empirik olaraq tapılmış "sehrli" rəqəmlər 1948-ci ildə Geppert-Mayerə və Yensənə nüvənin qılaflı modelini təklif etməyə yardımçı oldu. Bu işə görə onlar Viqnerlə birgə 1963-cü ildə Nobel mükafatına layiq görüldülər.

Bu nəzəriyyənin müəlliflərinə görə nüvədəki proton və neytronlar, atomdakı elektronlar kimi müəyyən orbitlərdə hərəkət edirlər. Hər bir konkret orbitin tam dolması "sehrli" rəqəmli atom nüvələrinə müvafiq gəlir. Kvant ədədləri atomların dolmuş elektron orbitlərini xarakterizə etdiyi kimi, bu rəqəmlər də sabit nüvələri xarakterizə edir. Lakin atomda elektronlar bir-birindən çox aralı hərəkət etdiyinə görə onlar arasında qarşılıqlı əlaqəni nəzərə almamaq olar.

Nüvədə isə nüvə qüvvələri nuklonları bir-birinə o qədər sıxır ki, hər bir hissəciyin ayrılıqda enerjisi qalan digər hissəciklərin enerjilərinin cəmindən asılı olur. Ona görə də nüvədəki



nuklonlar hər bir konkret nuklonun hərəkət edə biləcəyi vahid qüvvə sferası yaradırlar. Beləliklə də nüvənin quruluşu nuklonların qarşılıqlı təsiri ilə deyil, məhz nüvənin qüvvə sahəsi ilə müəyyən edilir.

İlk dəfə 1933-cü ildə Eynşteyn vahid sahə ideyasını irəli sürdü. Fizikanın o dövrdəki vəziyyəti üçün bu ideya vaxtından qabaq oldu, müasirləri onu qəbul etmədilər.

Eynşteyn təbiətin dörd əsas qarşılıqlı təsirini birləşdirməyi vacib sayırdı. Tarixdə artıq belə hadisə məlum idi. Bir vaxtlar Maksvellin apardığı işlər elektrik və maqnit qüvvələrini elektromaqnit qarşılıqlı təsiri kimi birləşdirməyə imkan vermişdi. Lakin Eynşteyn məlum qarşılıqlı təsirləri təbiətin əsas qanunu – nisbilik nəzəriyyəsi əsasında birləşdirmək istəyirdi. O, ömrünün axırına kimi bu problemlə məşğul oldu və ölərkən bu istiqamətdə işlərin davam etdirilməsini öz məşhur vəsiyyətnaməsində xahiş etdi.

Eynşteyn ilk nəticələrin alınmasına qədər yaşaya bilmədi. 60-cı illərin sonunda (XX əsr) Vaynsberq, Qleşou və Salam elektromaqnit və zəif qarşılıqlı təsirləri birləşdirərək nəzəriyyədə elektrozəif qarşılıqlı təsir yaratdılar. Hazırda böyük birləşmə nəzəriyyəsi mövcuddur ki, burada elektrozəif qarşılıqlı təsire güclü qarşılıqlı təsir də əlavə edilmişdir.

Cazibənin tədqiqi üzrə aparılan işlər isə bütün dörd əsas qarşılıqlı təsirin birləşdirilməsi üçün zəmanət verdilər.

Hal-hazırda "maddə və qüvvə yoxdur, yalnız müəyyən şəkildə yığılmış on bir ölçülü vaxt mövcuddur" deyən və Eynşteynə layiq olan bir mülahizə yaranmışdır.

Hər bir obyektin xarakteristikası onun keyfiyyət və kəmiyyət göstəricilərindən asılıdır. Buna görə də atom və nüvənin nədən ibarət olduğunu bilmək azdır. Onların quruluşunu da başa düşmək lazımdır. Atomun quruluşu ilə kvant mexanikası, nüvənin quruluşu ilə sahə nəzəriyyəsi məşğul olur.

Kvant mexanikasına görə kimyəvi elementlərin xassələrinin dövrü olaraq dəyişməsi atomun elektron qılıfının quruluşu və nüvənin yükü ilə bağlıdır. Onun təklif etdiyi kvant-mexaniki formula görə kimyəvi elementlərin dövrü asılılığında nüvənin quruluşu nəzərə alınmır.

Lakin sonralar müəyyən olundu ki, atomun quruluşunu nüvənin nəinki yükü, həm də quruluşu təyin edir. Sahə nəzəriyyəsinə əsasən kimyəvi elementlərin dövrü qanununun dördüncü tərfi belə səslənir – sadə elementlərin və onların birləşmələrinin xassələri nüvənin dövrü təkrarlanan quruluşundan dövrü olaraq asılıdır və nüvənin sahə qüvvəsi ilə təyin olunur.

Nüvənin qılf modeli artıq mövcud olan materialı sistemləşdirməyə yardım edir və nüvənin bəzi həyəcanlanmış

vəziyyətlərinin enerjisini qabaqcadan xəbər verməyə imkan yaradır.

Lakin təcrübi tədqiqatların göstərdiyi kimi nəzəriyyə və təcrübə arasında ciddi uyğunsuzluq mövcuddur, məsələn, bəzi nüvələrdə elektrik yükünün paylanması sferik deyil. Çarlz X. Taunson 1949-cu ildə öz məruzəsində bu uyğunsuzluğu qeyd etdi. Bu məsələ barəsində fikirləşən Reynuoter O.Bora öz mülahizəsini belə şərh edir: nüvənin tam dolmamış yuxarı qılaf-ları mərkəzdənqaçma qüvvələrinin təsirindən ellipsoidə defor-masiya edir. 1950-ci ildə o bu barədə mətbuatda çıxış etdi. Son-ralar bu mülahizə əsasında 1952-ci ildə O.Bor və Mottelson tə-rəfində atom nüvəsinin kollektiv modeli təklif olundu.

Bu nəzəriyyə atom nüvələrinin damcı və qılaf modellə-rini ümumiləşdirir. Müəlliflərin fikrincə nuklonların sahə qüvvəsi nüvəyə damcı şəkli verir. Tam dolmuş nüvə qılaf-ları simmetrik olub nüvənin dayanıqlı özəyini yaradırlar. Mərkəz-dənqaçma qüvvələrinin təsirindən yalnız nuklonla qismən dolmuş xarici qılaf-lar deformasiyaya uğrayar. Bu da öz növbə-sində nüvənin ölçülərinin dəyişməsinə gətirib çıxarar. Bu za-man yaranan rəqslər nüvə səthində dalğa və fırlanmalar ya-ranmasına səbəb olur. Qılaf-lı modeldən fərqli olaraq nüvə qu-ruluşunun yeni tərifində nuklonların bir-biri ilə qarşılıqlı təsiri nəzərə alınır.

Müəlliflər öz mülahizələrini təcrübi olaraq faktiki materiallar əsasında yoxladılar. Onların təklif etdiyi sintetik model deformasiya olunmuş nüvələrin xassələrini qabaqcadan xəbər verməyə imkan yaradır. 1975-ci ildə yaratdıqları kollektiv modelə görə Reynuoter, Bor və Mottelson Nobel mükafatı aldılar.

Zaman göstərdi ki, nüvənin quruluşu haqqındakı təsəvvürlərin gələcək inkişafı üçün onların nüvədə maddələrin yüksək keçiricilik xassəsinə səbəb olan nuklon cütlərinin yaranması barəsindəki mülahizələri ən perspektiv ideya oldu. Əgər belə cütlər həqiqətən yaranırsa, deməli nuklonlar arasında qarşılıqlı əlaqənin olması sübut edilir. Hər hansı bir qarşılıqlı əlaqə isə öz növbəsində kütlə dəyişmələrinə ekvivalent olan energetik dəyişmələrlə xarakterizə olunur. Beləliklə də nuklonların elementarlığı məsələsi ortaya çıxır.

### **Nuklonların quruluşu kimyəvi sistemləşmənin əsasıdır?**

Əgər bütün hissəciklərin ayrılmasında əsas kimi Eynşteynin başlıca formulunu götürsək

$$E=mc^2,$$

onda bütün hissəcikləri fermion və bozonlara ayırmaq olar:

**Fermionlar** – maddəni əmələ gətirən yarım bütöv spinli hissəciklərdir və Ferminin şərəfinə belə adlandırılmışlar. Onlara barionlar, leptonlar və antihissəciklər aiddir. Fermionların xarakterik cəhəti onların Pauli prinsipinə tabe olmalarıdır – hər bir kvant vəziyyətində bir hissəcikdən çox yerləşə bilməz.

**Bozonlar** – qarşılıqlı təsir daşıyıcılarıdır, Bozenin şərəfinə belə adlandırılmışlar. Onlar bütöv spinli hissəciklərdir. Bunlara 1 spinli fotonlar, 0 spinli mezonlar və 2 spinli olabələk və hələ tapılmamış qvaviton aiddir. Fermionlardan fərqli olaraq bozonlar kvant statistikasında başqa qanunauyğunluqla xarakterizə olunurlar – hər kvant vəziyyətində istənilən qədər hissəcik yerləşə bilər.

### **Əsaslı qarşılıqlı təsirlərin növləri**

Şərh olunan mövzu ilə bağlı əsaslı qarşılıqlı təsirlərin növləri barədə müəyyən məlumat verilməlidir. Bəzi əsas məlumatları nəzərə çatdıraraq.

Qarşılıqlı təsir – hissəciklərin bir-birinə təsiri zamanı hərəkət vəziyyətlərinin dəyişməsidir. Kvant mexanikasının təsəvvürünə görə hər bir hissəcik üçün müəyyən diskret sahə olmalıdır. Hissəciklərin qarşılıqlı təsiri müvafiq sahələrdə baş

verir. Hər bir növ qarşılıqlı təsirə müəyyən fiziki sahə uyğun gəlir.

Hazırkı dövrdə ümumiyyətlə dörd qarşılıqlı təsir qəbul olunmuşdur – cazibə, elektromaqnit, güclü, zəif.

Onların hamısı universaldır, lakin tədqiqat obyektinin ölçülərindən asılı olaraq təsir mütənəsibliyi dəyişir.

### **Cazibə (qravitasiya) qarşılıqlı təsiri**

– sonsuz böyük məsafələrdə təsir edir və səma cisimləri üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Mikroobyektlər üçün ən zəif qüvvədir. Cazibə qüvvəsinin daşıyıcısı, yəni cazibə sahəsinin kvantı qraviton hesab olunur.

Amerika kosmik tədqiqatlar mərkəzinin (NASA) zondlaşdırma dəlillərinə əsasən alimlər belə nəticəyə gəldilər ki, Kainatın tərkibinin 73%-ni anticazibə (antiqravitasiya) qüvvəsi, yəni qara (tünd) enerji təşkil edir. Çox maraqlıdır ki, Kainatın tərkibinin 4%-i adi maddə, 23%-i isə naməlum qara materiyadır.

Qara enerji hazırda Kainatın genişlənməsinə səbəb olur. Əvvəllər Kainatın mövcudluğunda əsas rol cazibə qüvvələrinə verilirdi. Yada salmaq lazımdır ki, 1917-ci ildə Eynşteyn ümumi nisbilik nəzəriyyəsini hesablayarkən Kainatın genişlənməsini nəzərdə tutmamışdı, ona görə də öz hesablamala-

rında kosmoloji sabitdən də istifadə etmişdi. Ona görə də bu sabitin yerinə antiqravitasiyanı əlavə etmək olar.

### **Elektromaqnit qarşılıqlı təsiri**

– yüklü hissəciklərin istənilən radiuslu qarşılıqlı təsirini xarakterizə edir. Atomların nüvələrinin elektron qılafları ilə qarşılıqlı təsirini göstərir. Elektromaqnit qarşılıqlı təsir qüvvələri sonsuz böyük məsafələrdə təsir edir və daşıyıcısı fotonlardır. Atom və molekulların əmələ gəlməsi və dağılması baş verməklə kimyəvi reaksiyaların getməsinə səbəb olur.

### **Güclü qarşılıqlı təsir**

– adronların qarşılıqlı təsirini xarakterizə edir. Güclü qarşılıqlı təsirin kvantı sakit vəziyyətdə kütlə yükü sıfıra bərabər olan qlüonlardır. Nüvədəki güclü qarşılıqlı təsir nüvə qüvvələri adlanır. Yukava tərəfindən kəşf olunmuş güclü qarşılıqlı təsir atom nüvəsində nuklonları birləşdirir və  $10^{-13}$  sm məsafədə təsir göstərir. Nüvədən nuklonu qoparmaq üçün çox böyük enerji lazımdır. Nüvənin yükü artdıqca elektromaqnit təsiri də artır ki, bu da eyniadlı yüklü hissəciklərin bir-birini itələməsinə gətirir. Nüvənin yükü  $Z$  yüksək olduqca güclü qüvvələr zəif qüvvələrlə birlikdə nüvənin stabilliyini pozur,

məlum elementlərin sayını məhdudlaşdırır və  $Z \geq 84$  olan zaman elementlərin təbii radioaktivliyinə səbəb olur.

### Zəif qarşılıqlı təsir

– elementar hissəciklərin iştirakı ilə gedən prosesləri xarakterizə edir. Zəif qarşılıqlı təsir yeganə dağıdıcı qüvvədir. O, maddənin quruluşunu dəyişdirir. Fermi tərəfindən kəşf olunmuşdur.



*Bu qüvvəni nə üçün zəif adlandırırlar?*

*Onun təsir radiusu çox kiçikdir:  $2 \cdot 10^{-16}$*

*sm, həm də uzun müddət davam edir, məsələn*

$$n = p + \bar{e} + \tilde{\nu}_e$$

$$p + \tilde{\nu}_e \rightarrow n + e^+$$

*Reaksiyaları 1000 san ərzində gedir. Zəif qarşılıqlı təsir çox kiçik məsafələrdə özünü göstərir, virtual neytronu protona və əksinə çevirir.*

Nüvənin kütləsi çox böyük olduqda və yüklər fərqi birdən böyük olmadıqda virtual çevrilmə real çevrilməyə keçir. Nüvə ya elektron ( $\beta$ -parçalanma), ya da pozitron atır və bu zaman işarə müvafiq olaraq  $(Z+1)$  yaxud  $(Z-1)$  dəyişir. Pozitron 1932-ci ildə Anderson tərəfindən kəşf edilmişdir.



Kvarklar və leptonlar arasındakı zəif qüvvələri vektor bozonları  $W$  daşıyır. Vektor bozonu – zəif qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklər sahəsinin kvantıdır. Bu hissəciyin protondan 1000 dəfə ağır olması onu işıq sürəti ilə hərəkət edən və dayanıqlıq kütləsi olmayan foton və qravitondan fərqləndirir.

Müasir fizikanın hesab etdiyi kimi virtual hissəciklər "kütlə səthində yerləşmir" və istənilən kütləyə malik ola bilər. Vektor bozonu yaranarkən külli miqdarda enerji ayrılmalıdır, lakin bu hadisə baş vermir, çünki yaranma virtual olur. Vektor bozonu kvazihissəcikdir, belə ki, onun sahə enerjisi dalğa (hissəcik) yaratmaq üçün kifayət deyil. Ancaq bu enerji real elektron və neytron parçalanması zamanı alınan elektron neytrinosu yaratmağa kifayət edir.

$$n\{2d(-1/3), u(-1/3)\} + W = p\{d(-1/3), 2u(-1/3)\} + \bar{e} + \bar{\nu}_e$$

Hissəcikləri iştirak etdikləri qarşılıqlı təsirə əsasən təsnifata ayırısaq, onları adronlara və leptonlara bölmək olar.

Güclü qarşılıqlı təsirdə iştirak edən hissəciklər **adronlar** adlanır. Onlar barionlara, yarımbütöv spinlərə (proton və neytron) və bütöv spinli mezonlara ayrılırlar.

1/2 spini ilə güclü qarşılıqlı təsirdə iştirak etməyən hissəciklər **leptonlar** adlanır. Onlar adronlardan fərqli olaraq nöqtəvari obyektlərdir və  $10^{-16}$  sm məsafəyə qədər daxili quruluşa malik deyillər. Ona görə də hazırkı dövrdə onları elementar hissəcik hesab etmək olar.

Leptonlar neytral və yüklü leptonlara bölünürlər.

- neytral leptonlar (elektron neytrinosu  $\nu_e$ , myuon neytrinosu  $\nu_\mu$  və ağır lepton neytrinosu  $\nu_\tau$ ) və spinə görə onlara müvafiq olan antihissəciklər  $\tilde{\nu}_e$ ,  $\tilde{\nu}_\mu$ ,  $\tilde{\nu}_\tau$ ; neytrino yaxud antineytrino əmələ gəlməsi onların hansı leptondan yaranmasından asılıdır.

- yüklü leptonlar (elektron  $e^-$ , myuon  $\mu^-$  və ağır lepton  $\tau^-$ ) və onlara yükçə müvafiq olan antihissəciklər  $e^+$ ,  $\mu^+$ ,  $\tau^+$ .

1960-cı ildə  $\alpha$ -hissəciklərin atom nüvələri ilə səpələnməsi kimi elektronların protonlarda səpələnməsi aparılmış, nüvənin özəyi aşkar edilmiş, onun quruluşu haqqında sual ortaya çıxmışdı.

Təcrübi nəticələri izah etmək üçün Gell-Man və Sveyq 1963-cü ildə fantastik kvark və qlüonlar nəzəriyyəsini irəli

sürdülər. Yalnız son vaxtlarda bu nəzəriyyə öz praktiki təsdiqini tapdı və müəlliflər Nobel mükafatı aldılar.

Kvarklar və qlüonlar – təbiətin başlıca hissəcikləri – yalnız Böyük Partlayışdan sonra ani olaraq  $10^{-5}$  san yaşaya bilən materiyanın xüsusi növüdür. Soyuyan zaman kvarklar və qlüonlar birləşərək ikilik və ya üçlük əmələ gətirərək fərdi mövcudluqdan çıxır, mezon və adronlara çevrilirlər. Təbii ki, süni plazma almaq üçün nə vaxtsa təbiətdə mövcud olmuş energetikaya müvafiq energetik şərait yaratmaq lazım idi. Kvark–qlüon plazmasının yaranması mahiyyətə Eynşteynə görə enerjiden hissəcik yaratmaqdır.

Keçən əsrin 80-ci illərindən başlayaraq bizə məlum olan nuklon materiyasından kvark–qlüon plazmasının alınması üzrə eksperimentlər aparılırdı. Çoxları hesab edirdilər ki, bu zaman Yer kürəsini və digər kosmik obyektləri özünə çəkən qara dəşik alınması təhlükəsi yarana bilər. Dünya ictimaiyyəti narahatlıq keçirməklə bu eksperimentləri qadağan etmək məsələsinin müzakirəsi ilə məşğul olduğu zaman artıq ilk nəticələr alındı. 2000-2001-ci illərdə İsveçrədə və Amerikada aparılan işlər yerin kvark–qlüon materiyasının alınmasını güman etməyə imkan verdi. Bu sahədə tədqiqatlar hələ davam etdirilir.

Atomun quruluş vahidləri olan proton, neytron və elek-

tron kimi kvarklar da adronların tərkib vahidləridir. Onlar güclü, zəif və elektromaqnit qarşılıqlı təsirlərinin iştirakçılarıdır. Hazırda  $10^{-16}$  sm məsafəyə qədər kvarklar quruluşa malik deyil.

Elementar hissəciklərdən fərqli olaraq kvarklar kəsri elektrik yükünə malikdir. Bir vaxtlar kvarkların bu xüsusiyyəti bezi alimləri çəkindirirdi. Həqiqətən də, kvarkların yükü bu gün qeyri-diskret stabil hissəcik sayılan elektronun yük vahidləri ilə ifadə olunurdu. Hazırda Stenfordda yükü elektron yükünün  $1/6$ -nə bərabər olan stabil hissəcik axtarışları aparılır. Bu hissəciyin mövcud olması ehtimalı vardır, çünki aparılan eksperimentlərə görə kvark və qlüonun mövcudluğu yəqindir.

Kvarklar təbiətdə fərdi olaraq müşahidə olunmur, çünki onlar arasında məsafə böyüdükcə cazibə qüvvəsi artır. Kvarkların timsalında görmək olar ki, diskretlik anlayışı (latınca diskretus – bölünmüş, ayrılmış deməkdir) prinsipial dəyişikliklərə uğrayır, çünki onları ayırmaq cəhdi boşa çıxır.

Kiçik məsafələrdə kvarklar sahəsiz(!) hissəciklərdir, ona görə də öz aralarında sıfır yaxınlaşdıqca kütləsi olmayan(!) qlüon mübadiləsi ilə əlaqəyə girirlər. Bunlar kvant elektrodinamikasındakı fotonları xatırladırlar, lakin onlardan fərqli olaraq qlüonlar bir-biri ilə kvarkları yapışdırmaqla qarşılıqlı təsirdə olurlar.

Kvarklar və qlüonlar elementar hissəciklər və vakuüm arasında keçid vəziyyətidir. Vakuüm kimi onlar da bir-birindən aralana bilməzlər, digər tərəfdən isə sərbəst halda mövcud olmayaraq, yalnız proton və neytronlarda yaşayırlar.

### **Kvarkların sərbəstlik dərəcəsi**

#### **• Rəng vəziyyəti**

Rəng adlanan kvant vəziyyətlərinə görə fərziyyənin müəllifləri kvarkları üç qrupa ayırırlar:

r (red) – qırmızı

y (yellow) – sarı

v (violet) – bənövşəyi

kvarklar bir rəngdən digərinə qlüonlar buraxmaqla keçə bilirlər. Müəyyən rəngli kvarklar işıq kvantları eyni dərəcədə udur və buraxırlar. Hər rəngin kvarkı özünə məxsus kütləyə malikdir.

#### **• Kvarkların iyi (ətri)**

Ətir anlayışı 6 sərbəstlik dərəcəsini göstərir : u, d, s, c, b, t. d, s, b ətirli kvarklar mənfi yüklüdür,  $-1/3$ . u, c, t kvarkları müsbət yüklüdür,  $+2/3$ .

Yüklər protonların yük vahidləri ilə ifadə olunur. Adi maddə u və d kvarklarından ibarətdir. Qalan kvarklar isə süni

olaraq alınmış və yaxud da kosmik şüalarda müşahidə olunmuşdur.

- **Kvarkların spini 1/2-dir.**
- **Hər bir kvarkın antikvarkı var.**

### **Kvarkların sərbəstlik dərəcəsi ədədi**

Kvarkların sərbəstlik dərəcəsi ədədini hesablayaq.

$$3 (\text{rəng}) \cdot 6 (\text{ətir}) \cdot 2 (\text{spin}) \cdot 2 (\text{yük}) = 72$$

### **Hissəciklərin nəsli**

Yüklü leptonlar və onlara müfaviq olan neytrino kvarklarla üç nəsil elementar hissəcik əmələ gətirir.

Leptonlar	Neytrino	Kvarklar u, c, t +2/3	Kvarklar d, s, b -1/3	Hissəcik- lərin nəsli
e	$\nu_e$	u	d	I
$\mu$	$\nu_\mu$	c	s	II
$\tau$	$\nu_\tau$	t	b	III

Hissəciklər birinci nəsildən ikinci nəsil vasitəsi ilə üçüncü nəslə keçərkən onların kütləsi artır. u, d, c, s, t, b kvarkların kütləsi müvafiq olaraq 310, 310, 1500, 505, 2250, 5000 MeV-a bərabərdir.

Birinci nəsələ təbiətdə rast gəlinir, qalan iki nəsəl isə ya süni yolla alınır, yaxud da kosmik mənşəlidir. Hədsiz ağır kvarkların mövcudluğu haqda olan elmi fərziyyə 2002-ci ildə kvark ulduzlarının kəşfi barədəki məlumatla təsdiqləndi.



***Əgər ağır kvark materiya – nukleolit mövcudursa, onda o, nə vaxtsa Yerlə toqquşmalıdır.***

*Ona görə də Qleşounun 1984-cü il də bildirdiyi kimi, arqumentləşməmiş seysmik aktivlik hallarının qeyd olunması "əcaib kvark materiyanın" Yer kürəsindən keçməsinin əlamətidir.*

*"Əlaqəsiz zəlzələlərin" riyazi interpretasiyası Teplitz və Errin tərəfindən aparılmışdır. Onlar 1990-1993-cü illərdə baş vermiş seysmik dəyişikliklərə əsaslanmışdılar. Təcrübələr nəticəsində iki hadisə aşkar edilmişdir.*

*Müəlliflərin fikrincə bunu yalnız Yer kürəsinin "əcaib kvark materiyanı" ilə toqquşması ilə izah etmək olar.*

### **Neytronun tərkibi**

Əvvəllər elementar hissəcik kimi məlum olan neytron da bölünəndir (diskretdir). O, bir  $u (+2/3)$  və iki  $d (-1/3)$  kvark-

dan ibarətdir və yükü sıfıra bərabərdir. Ümumiyyətlə neytral olmasına baxmayaraq, quruluşu mürəkkəb olduğu üçün daxilində maqnit momentinin yaranmasına səbəb olan elektrik cərəyanı vardır ki, bu da neytronun elektromaqnit qarşılıqlı təsirində iştirak etməsinə sübutdur.

Kütləyə malik olduğu üçün, o cazibə qarşılıqlı təsirində də iştirak etməlidir. Neytron sərbəst halda qeyri-sabit hissəcikdir, onun ömrü  $887 \pm 2$  san-dir. Ömrünün sonunda zəif qarşılıqlı əlaqədə iştirak edərək proton, elektron və antineytrinoya çevrilir

$$n = p + \bar{e} + \tilde{\nu}_e .$$

Neytronun kütləsi 939,57 MeV, protonunkü 938, 28 MeV-dir. Neytron protondan ağır olduğu üçün, o güclü qarşılıqlı təsirdə iştirak edərək protona keçir. Neytron yalnız atom nüvəsinin daxilində sabitdir və nə qədər olsa yaşaya bilər. Bunun misalında da neytronun iştirak etdiyi zəif və güclü qarşılıqlı təsirlərin qüvvəsini müqayisə etmək olar.

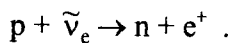
Nüvənin quruluş vahidi olmaqla neytron stabillik əldə edir. Bu stabilliyi nüvədəki güclü qarşılıqlı təsir müəyyənləş-



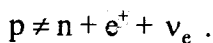
dirir, hansı ki elementar hissəciklərin həyatında bu təsir yoxdur. Son nəticə olaraq, deyə bilərik ki, təbiətdə elementar hissəcikdən ağır olan nüvənin yaranmasını güclü qarşılıqlı təsirlər müəyyənləşdirir. Nüvələrin xassələri isə atomların kimyəvi fərdiliyini müəyyənləşdirir.

### Protonun tərkibi

İki  $u$  ( $+2/3$ ) və bir  $d$  ( $-1/3$ ) kvarkdan ibarət olan proton da neytron kimi elementar hissəcik deyil. O, müsbət yüklüdür, elektromaqnit təsirlərində iştirak edir. Proton həm də zəif təsirlərdə də iştirak edir, çünki nüvədə protonun neytrino götürməklə neytrona keçməsi reaksiyası baş verir



Qeyd etmək lazımdır ki, neytrondan yüngül olan sərbəst proton üçün parçalanma reaksiyası mümkün deyil



Bununla da protonun uzunömürlülüyünü izah etmək olar:  $>10^{25}$  il.

Protonun və neytronların nüvədaxili keçidləri protonların güclü təsirlərdə iştirak etməsinə sübutdur. Kütləyə malik

hissəcik olduğuna görə proton cazibə təsirlərində də iştirak edir.



**Sıra nə ilə qurtarmalıdır:**

**atom – nüvə – nuklonlar – kvarklar → ?**

*Bu suala cavab fəlsəfi qanunauyğunluqdan irəli gəlir: materiyanın ali hərəkət formasında onun tərkib hissəsi – alçaq (aşağı) hərəkət forması öz əksini tapır. Atomların xassələrinin dövrü dəyişməsi öz izahını atomun quruluşunda, yəni atomun fərdiliyini müəyyən edən nüvənin quruluşunda tapır.*

*Bu qanunauyğunluğu davam etdirərək, elementlərin xassələrinin dövrü dəyişməsinin sonrakı asılılıqlarını təbii ki, nüvənin nuklonlarının quruluşunda axtarmaq lazımdır. Buna görə də materiyanın bölünən olmasının tədqiqində Mendeleevin kəşf etdiyi qanunauyğunluqlar həmişə çox qiymətli (misilsiz) rol oynamış və gələcəkdə bu belə olacaqdır. Hazırkı dövrdə atom nüvəsinin quruluşunun öyrənilməsi üzrə tədqiqatlar davam etdirilir.*

## II FƏSİL

### NÜVƏ REAKSİYALARI

Ağır radioaktiv elementlərin nüvəsinin kütləsi onun tərkibindəki nuklonların kütləsindən artıqdır. Ağır elementlərin radioaktivliyinin səbəbi məhz elə budur, çünki Eynşteynin formulundan məlumdur ki, kütlə və enerji ekvivalentdir. Radioaktiv nüvələrin izafi enerjisi ağır nüvələrin parçalanmasına səbəb olur. Yüngül elementlər üçün nuklonların cəmi kütləsi onların nüvəsinin kütləsindən artıq olur. Ona görə də yüngül elementlərin sintezi – istiliknüvə sintezi nüvədən enerji ayrılmasına səbəb olur. Baş verən parçalanma və ya sintez reaksiyaları zamanı enerji ayrılması nüvələrin çevrilməsinə gətirir.



#### *Radioaktiv nüvələrlə nə baş verə bilər?*

*Onlar parçalana bilər, başqa hissəciklərlə qarşılıqlı təsirdə ola bilər, onları sintez etmək olar. Bu təsirlərin hər birini ayrılıqda nəzərdən keçirək. Unutmayaq ki, bütün hallarda saxlanma qanunlarına riayət olunmalıdır:*

- *elektrik yükünün saxlanması*
- *nuklonlarının sayının saxlanması*
- *enerjinin saxlanması*
- *impulsun saxlanması və s.*

## Nüvələrin parçalanması

Radioaktiv parçalanma bir elementin qeyri-sabit izotopunun özbaşına olaraq digər elementin izotopuna çevrilməsidir.

Kimyəvi elementlər yaranarkən stabil və radioaktiv nüvələr meydana çıxırdı. Elementlərin təbii sintezi zamanı nüvənin maksimum böyük yükü  $Z=137$  olmalı idi. Bunu hələ nöqtəvari nüvə fikri mövcud olduğu zaman Fermi belə hesab edirdi, lakin sonralar Trifonov nüvənin bölünən olmasını nəzərdə tutmaqla ən ağır kimyəvi elementin yükünü dəqiqləşdirdi. O, təxminən  $Z \sim 150$  olmalı idi. Prinsipcə bundan ağır nüvə orbitaldakı elektronlar və müsbət nüvə arasındakı Kulon cazibə qüvvələrinin artması səbəbindən mövcud ola bilməzdi. Bu elektron tutulmasına gətirib çıxarırdı.

Çox ağır transuran elementlərinin qeyri-sabit nüvələri onların yaşama müddətindən asılı olaraq bəziləri ani zamanda, bəziləri isə yavaş sürətlə dağılırdı. Parçalanarkən onlar yalnız stabil yox, həm də uzunmüddətli yarımparçalanma dövrlü digər radioaktiv elementlərə çevrilirdi. Həqiqətən də transuran elementlərin radioaktiv izotoplarının iki sabitlik piki mövcud idi:  $Z=90 \div 96$  və  $Z=142 \div 151$ .

Ağır transuran elementlərin sintezi üzrə işlər davam etdirilir və görünür ki, müəyyən nailiyyətlər əldə edilib.

Bu yaxınlarda 113, 114, 115, 116 və 118-ci elementin sintezi barədə məlumat verildi. Bu yalnız başqa elmi kollektivlər də bu təcrübələri təkrar edə bildikdən sonra hamı tərəfindən qəbul oluna bilər. Bu elementlərin bəzilərinin sintez olunmuş atomları bir neçə saniyə yaşamış olduğuna görə heç bir praktiki əhəmiyyət kəsb etmir. Sintez olunmuş elementlər tamamilə qeyri-adi xassəli xüsusi materiya növünü təşkil edirlər, ona görə də bu tədqiqatlardan irəli gələn nəzəri nəticələr məlum qarşılıqlı təsir növlərini birləşdirən nəzəriyyənin yaranmasına gətirər.

Yerin hazırkı radioaktivliyini müəyyən edən elementlər birinci pikə aiddir. Mövcud izotoplar təkcə dörd radioaktiv sıranın parçalanma məhsullarını təmsil etmir:

- torium  $^{232}_{90}\text{Th}$
- neptunium  $^{237}_{93}\text{Np}$
- uran – radium  $^{238}_{92}\text{U}$  və
- uran – aktinium  $^{235}_{92}\text{U}$ .

İzotoplar Yer üzündə artıq "məhv olmuş" elementlərin "yaddan çıxmış" izləridir. Hazırda bu ağır transuran elementlərin qəlpəli bölünməsinin izləri axtarılır. Meteoritlərin və Ay

torpağının tədqiqi işləri aparılır. Alimlər bu izləri Yerdə də tapmağa ümid edirlər. Prinsipcə bu mümkündür, çünki Antarktida və Qrenlandiyada yaşı 3,8-3,9 milyard il olan süxurlar mövcuddur.

Dövri sistemdə sıra nömrəsi 83-dən yuxarı olan bütün elementlər radioaktivdir. Təbii radioaktivlik kalium 40, rubidium 87, indium 49, lantan 138, samarium 147, lütesium 175 və renium 187 kimi yüngül və orta nüvələrdə müşahidə olunur.

Texnesium 43 və prometeyum 61 üçün stabil izotoplar yoxdur. Texnesiumun radioaktiv izotoplarının ömrü 100 min ildir, bu səbəbdən də Yerdə yoxdur. 1937-ci ildə Siboq və Seqre tərəfindən alınmış bu element ilk süni element idi və buna görə də texnesium – süni adlandırıldı. Merilan 1952-ci ildə onu ulduzlarda tapdı. Texnesium neytron şüalanması mənbəyidir və zəncirvari reaksiya nəticəsində əmələ gəlmişdir.

Eyni tipli atomların radioaktiv parçalanma sürəti bərabərdir. Hər hansı radioaktiv elementin parçalanması qonşu atomdan asılı deyil və başqalarına təsir etmir. Radioaktiv parçalanma statistik ehtimali proses olduğuna görə onun nə vaxt baş verəcəyini qabaqcadan demək mümkün deyil. Bu səbəbdən də yarımparçalanma dövründən bəhs edərkən, hər hansı

bir atomdan danışmırıq, həmin izotopun çoxlu sayda atomları üçün hesablanmış orta kəmiyyəti götürürük:

$$dN/dt = -\lambda N$$

inteqrallaşdırırıq

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

burada:  $e$  – natural loqarifmin əsası – 2,71828;

$N_t$  – vahid  $t$  zamanında parçalanan radioaktiv elementin atomlarının sayı;

$N_0$  – radioaktiv elementin atomlarının başlanğıc andakı sayı;

$\lambda$  – radioaktiv parçalanma sabitidir.

$\lambda$ -nın qiymətini bilməklə yarımparçalanma dövrünü – nüvənin yarısının parçalandığı müddəti tapmaq mümkündür:

$$N_t = 1/2 N_0,$$

$$1/2 = e^{-\lambda t},$$

$$T = \ln 2 / \lambda.$$

Elementlər üçün aşağıda göstərilən nüvə qarşılıqlı təsirləri xarakterikdir:

$\alpha$  – parçalanma

$\beta$  – parçalanma

nüvələrin qarşılıqlı təsiri



### ***γ-şüalanma haqqında bəzi məlumatlar***

*Mövcud fikirlərin əksinə olaraq Yerdə γ-şüalanma elementlərin çevrilməsində iştirak etmir və radioaktiv çevrilmə növü sayılmır. Əmələ gələn nüvənin həyəcanlanmış olduğu radioaktiv çevrilmələri müşayət edir.*

*γ-şüaların əmələ gəlməsi atom nüvələrinin həyəcanlanmış haldan əsas hala keçməsi ilə əlaqədardır. Bu həyəcanlanmış nüvənin enerjisinin azalmasının əsas yoludur. Həqiqətən enerjinin kvantlaşmasını yalnız öz elektron energetik səviyyələri ilə birlikdə atom deyil, həm də onun nüvəsi xarakterizə edir. Nüvənin aşağı səviyyəsi onun əsas səviyyəsidir. Böyük enerjili səviyyələr həyəcanlanmış səviyyələrdir. Atomlarda analoji olaraq, həyəcanlanmış səviyyədən əsas səviyyəyə keçərkən sərt, qısdalğalı şüalanmanı təmsil edən γ-kvantlar şüalanır.*

*Atom səviyyələri diskret olduğuna görə bu şüalanmanın spektri həmişə diskretdir. Yaranan elektromaqnit şüalanmanın dalğa uzunluğu eyni olmur,  $10^{-10}$ - $10^{-13}$  m intervalında dəyişir. Əgər nüvənin xarici həyəcanlanmış səviyyələri enerji buraxırsa, bu zaman şüaların uzunluğu çox, nüvənin daxili səviyyələrini şüalarının uzunluğu isə az olur.*

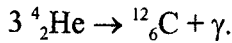


*$\gamma$ -şüaların dalğa uzunluğunun diapazonu fotonların enerji diapazonuna müvafiqdir. Onların nə yükü, nə də kütlələri var. Ona görə də şüaburaxma elementlərin çevrilmələri ilə əlaqədar deyil. O nüvənin energetik vəziyyətinin dəyişməsinə səbəb olur, onun tərkibi isə dəyişməz qalır.*

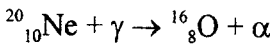


**Nüvəni nə həyəcanlandırır bilər?**

Nüvənin enerjisinə müvafiq ola bilən enerji. Məsələn Günəş enerjisi. Bununla əlaqədar Günəşdə heliumun və digər elementlərin çevrilmə reaksiyalarına baxmaq maraqlı olar



Yerdə  $\gamma$ -şüalanma nüvə çevrilmələrinə səbəb olmur. Günəşdə isə yer şəraitindən fərqli şəraitdə  $\gamma$ -şüalanmanın enerjisi o qədər böyük olur ki,  $\alpha$ -hissəciyi neon nüvəsindən qoparır

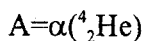


Yerdə belə yüksək enerjilər  $\alpha$ - və  $\beta$ -parçalanmalara və nüvə reaksiyalarına məxsusdur.

*Nüvənin şüalanma enerjisi  $n \cdot 1\ 000$ , yaxud  $n \cdot 1\ 000\ 000$  dəfə atomun şüalanma enerjisindən çoxdur. Həyəcanlanmış nüvə enerji ayıraraq mütləq stabil vəziyyətə keçir. Əgər bu enerji  $\alpha$ - və  $\beta$ -hissəciklərin buraxılmasına lazım olan enerjiden azdırsa  $< 3\text{MeV}$ , onda o,  $\gamma$ -şüalanmaya çevrilir.*

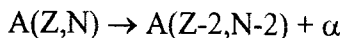
### **$\alpha$ -parçalanma**

$\alpha$ -şüaların varlığını ilk dəfə Rezerford aşkar etmişdi. O, sübut etdi ki,  $\alpha$ -hissəcik elektronlarını itirmiş helium atomudur

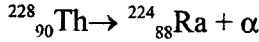
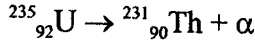
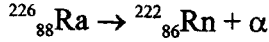


1928-ci ildə bir-birindən xəbərsiz Qamov, Henri və Kondor  $\alpha$ -hissəciyin nüvədə olduğu fərziyyəsini irəli sürdülər. Onlar  $\alpha$ -parçalanmanı həmin hissəciyin enerjisi ilə əlaqələndirirdilər. Əgər  $\alpha$ -hissəciyin enerjisi Kulon potensial maneəsini dəf etməyə kifayətdirsə, deməli  $\alpha$ -şüalanma baş verir.

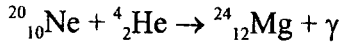
Fayans və Soddinin yerdəyişmə qaydasına görə  $\alpha$ -parçalanma nəticəsində  $Z-2$  izotopu alınır



$\alpha$ -parçalanmaya sübut kimi aşağıdakı reaksiyaları göstərə bilərik



$\alpha$ -hissəcik çox davamlı birləşmədir, lakin belə davamlı quruluşların əmələ gətirilməsi cəhdi ilə radioaktivliyi izah etmək olmaz. Bunun ən yaxşı sübutu təbii proses – Günəşdə maqnezium atomlarının sintezidir



Məlum prinsip – hərəkət əks-hərəkət doğurur prinsipi bu halda belə ifadə oluna bilər:  $\alpha$ -parçalanmaya əks olan proses, yəni  $\alpha$ -hissəciyin nüvəyə daxil olması baş verməlidir. Əgər  $\alpha$ -hissəciyin kinetik enerjisi 10 MeV olsa, nüvəyə daxil olmada energetik maneənin potensial enerjisi üç dəfə artıqdır və 30 MeV təşkil edir. Kvant mexanikası parçalanmanın səbəbini tunel effekti ilə izah edir. Potensial maneə (baryer) yüksək və qalın olduqca tunel effekti ehtimalı aşağı olur. Məhz buna görə də bir çox nüvə üçün  $\alpha$ -parçalanma xarakterik deyil.

$\alpha$ -parçalanma ehtimalı nüvə və qəlpənin əmələgəlmə enerjiləri arasındakı nisbətlə təyin olunur. Əgər qəlpənin əmələgəlmə enerjisi 28,8 MeV-dan, yəni iki neytron və iki proton-

lu  $\alpha$ -hissəciiyin əmələgəlmə enerjisindən çoxdursa, onda parçalanma mümkündür.  $\alpha$ -parçalanma enerjisi 5,208; 5,421; 5,838; 6,173 MeV kvantlaşır ki, bu da nəinki əsas vəziyyətdə, həm də həyəcanlanmış vəziyyətdə qəlpə əmələ gəlməsinə müvafiqdir. Bu vəziyyət qeyri-sabitdir,  $10^{-12}$ - $10^{-8}$  saniyədən sonra nüvə  $\gamma$ -şüa buraxmaqla daha aşağı əsas səviyyəyə keçir.

Kvantın qiyməti keçid baş verən səviyyələrin enerjiləri arasında olan fərqə bərabərdir. Demək olar ki,  $\gamma$ -şüalanma əsas energetik vəziyyətlərdə qəlpə əmələ gələn zaman mümkün deyil.

### **$\beta$ -parçalanma**

İlk dəfə  $\beta$ -parçalanma haqqında məlumatı 1930-cu ildə Pauli vermişdi. O, enerjinin saxlanma qanunu və hərəkət miqdarı momenti qanununu xilas etmək üçün bu fikri ortaya atmışdı.

O vaxta qədər proses belə göstərilirdi:

$$n \rightarrow p + \bar{e}.$$

Bu tənlikdən göründüyü kimi, enerjinin saxlanma qanununa əsasən, elektronun enerjisi sabit qalmalı, ilk və son vəziyyətlərin enerji fərqinə bərabər olmalıdır. Lakin təcrübələr göstərdi ki, o fasiləsiz olaraq sıfırdan maksimum qiymətinə

qədər dəyişir. Ona görə də Pauli belə bir ehtimal irəli sürdü ki, sabit qalan elektronun enerjisi yox, elektronun enerjisi ilə hər hansı bir hissəciyin enerjisi cəmi olmalıdır.

Belə bir uyğunsuzluq hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanunundan da irəli gəlirdi. Həqiqətən də, nüvənin spini elektron ayrılarkən  $1/2$  dəfə azalmalı idi ki, bu da heç vaxt mümkün ola bilməz. Deməli,  $1/2$  spinli hər hansı bir hissəcik də əmələ gəlir.

Yükün və kütlənin saxlanma qanunlarını nəzərə almaqla bu hissəciyin elektron kütləsindən çox kiçik kütləli neytral hissəcik olduğunu fərz etmək olar. Hazırda eksperimental olaraq sübut olunmuşdur ki, neytrinin kütləsi sıfırdan fərqlidir.

Bu hissəciyin varlığını Fermi hələ yalnız elektron, proton və neytron məlum olduğu dövrdə göstərmişdi. Bu hissəciyin nüvə və elektronlarla qarşılıqlı təsiri çox zəif olduğundan onu aşkar etmək çox çətindir. Belə ki, ilk dəfə onun özü yox, yalnız qarşılıqlı təsirin izləri məlum olmuşdu. Nüvədən ayrılan hər bir hissəcik kimi o da nüvəyə enerji verməli idi. 1942-ci ildə hələ hissəcik özü kəşf olunmadığı bir dövrdə, belə energetik hadisə berilliumun  ${}^7_4\text{Be}$  izotopunun radioaktiv parçalanmasında qeydə alınmışdı. 1953-cü ildə Rayn və Kouen xəbər verilmiş və təsvir olunmuş neytrini tapdılar. Bu yeganə şüa-

lanma növüdür ki, Yerə Günəşin və ulduzların təkindən gəlir və onlar haqqında məlumat gətirir.

1934-cü ildə Fermi  $\beta$ -parçalanma nəzəriyyəsini irəli sürdü. Bu nəzəriyyəyə görə nüvədə nuklonun parçalanması zamanı elektron  $\bar{e}$ , pozitron  $e^+$ , antineytrino  $\bar{\nu}_e$  və neytrino  $\nu_e$  yaranır. O, sübut etdi ki, nüvədə elektron və pozitron yoxdur, yalnız nuklonların onları əmələ gətirən zəif qarşılıqlı təsiri var. Proton neytrona keçərkən  $\beta^+$ -parçalanma, yaxud orbital tutulma, neytron protona keçərkən  $\beta^-$ -parçalanma baş verir. Protonun neytronla, yaxud neytronun protonla əvəz olunması maksimum sabitliyə müvafiq olan nisbətləri ilə müqayisədə onlardan hər birinin artıq miqdarına görə sərfəli olduğu halda  $\beta$ -parçalanma yaranır.

Bu prosesləri ekvivalent hesab etmək olmaz. Elektron və pozitron yüklü hissəciklər olduqlarına görə müsbət yüklü nüvə ilə müxtəlif qarşılıqlı təsirdə olurlar. Elektronlar nüvə tərəfindən cəzb olunur, pozitronlar isə əksinə itələnilir. Beləliklə də  $\beta^-$ -parçalanmanı zəif hərəkətli hissəciklər,  $\beta^+$ -parçalanmanı isə böyük hərəkətli hissəciklər doğurur. Həm də bu parçalanmanın enerjisi nüvənin yükündən asılı olacaq.

Orbital tutulma nüvələrin qarşılıqlı təsiri nəzərdə keçirilərkən təqdim olunacaq, nüvələrin öz parçalanmaları isə iki cür olur:

$\beta^-$ -parçalanma

$\beta^+$ -parçalanma.

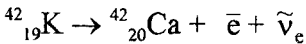
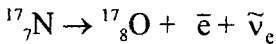
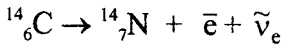
**$\beta^-$ -parçalanma, yaxud elektron parçalanması** proton bolluğu olan nüvələrə məxsusdur və təbii radioaktivlik üçün xarakterikdir

$$n = p + \bar{e} + \tilde{\nu}_e.$$

$\beta^-$ -parçalanma üçün hərəkət qaydası belə olacaq

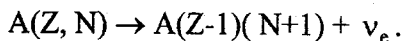
$$A(N, Z) \rightarrow A(Z+1, N-1) + \bar{e} + \tilde{\nu}_e.$$

Konkret misallar kimi bu reaksiyaları göstərə bilərik:

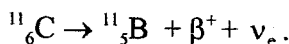


**$\beta^+$ -parçalanma, yaxud pozitron parçalanması** neytronları protonlarından az olan nüvələr üçün xarakterikdir. Pozitron kosmik şüalarda tapılmışdır:

$$p = n + e^+ + \nu_e,$$



Konkret misal kimi bu reaksiyanı göstərə bilərik:



Yeni nüvənin kütlə ədədi bu zaman dəyişmir, yalnız onun yükü bir vahid azalır. Bu proses yalnız nüvədə baş verir. Sərbəst halda bu mümkün deyil, çünki yüngül hissəcik olan proton neytrondan stabildir. Beləliklə,  $\beta^+$ -parçalanma yalnız süni radioaktivlikdə mümkündür.

### **Nüvələrin spontan (öz-özünə) bölünməsi**

1940-cı ildə Flerov və Petrajak yeni radioaktiv parçalanma növünü –  ${}^{238}_{92}\text{U}$  uran nüvəsinin öz-özünə bölünməsini aşkar etdilər. Bu reaksiya nəticəsində 30-64 yüklü elementlərin qəlpələri əmələ gəlirdi.

Ağır nüvələr üçün elə bir an yaranır ki, bu zaman güclü qarşılıqlı təsir elektromaqnit qarşılıqlı təsiri ilə əkslik əmələ gətirir. Bir nüvə əvəzinə iki qəlpənin mövcud olması iqtisadi cəhətdən sərfəli olur. Çünki köhnə nüvənin enerjisi bu qəlpələrin enerji cəmindən böyükdür.

Lakin minimum enerjili vəziyyəti yalnız energetik mənaəni aşmaqla əldə etmək olar. Bunun üçün iki yol var: ya bu

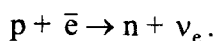


enerjini nüvədən xaricdə, ya da nüvənin daxilində axtarmaq lazımdır. Əgər nüvənin bölünməsi nüvənin enerjisi hesabına gədirsə, belə reaksiya spontan nüvə reaksiyası adlanır.

### **Nüvələrin qarşılıqlı təsiri**

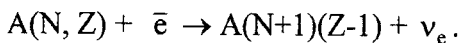
#### **Elektron tutulması $\varepsilon$ yaxud orbital tutulması**

Bu proses təbii radioaktivliyi xarakterizə edir. reaksiyanın getməsi üçün elektron tutulur. Belə reaksiya nəticəsində pozitron ayrılır

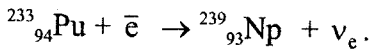
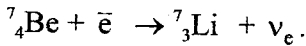
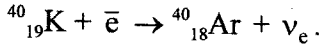


Elektron tutulması bir növ pozitron parçalanmasını xatırladır, çünki hər iki hal protonun neytrona keçidini xarakterizə edir.

Bu proses üçün Soddi və Fayans qaydası belə bir düstur təklif edir



Orbital tutulması üçün maraqlı reaksiyaları nəzərdən keçirək. Birinci öz sistemini yaradarkən Mendeleyevin qarşılaşdığı ziddiyyətləri izah edir.

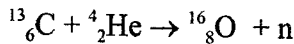


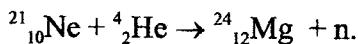
Orbital tutulma zamanı nüvə atom elektronlarından birini tutur. Hansı səviyyədən tutulmasından asılı olaraq K-tutulma, L-tutulma və s. növlərə ayırırlar. Boşalmış yeri energetik cəhətdən daha tutumlu xarici səviyyədən olan elektron tutur ki, bu da rentgen şüalanmasının yaranmasına səbəb olur.

### Neytron tutulması

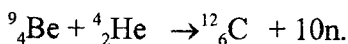
Təbii neytron tutulması prosesi daim təbiətdə baş verməkdədir. O, ağır izotopların yaranmasına səbəb olur.

Kameron neytronların kosmik əmələ gəlmə reaksiyasını nəzəri olaraq fərz etmişdi





Yerdə neytron mənbəyi kimi berillium və radium qarışığının hamıya məlum olan radioaktiv parçalanması reaksiyası götürülə bilər, burada radium  $\alpha$ -şüaların mənbəyidir



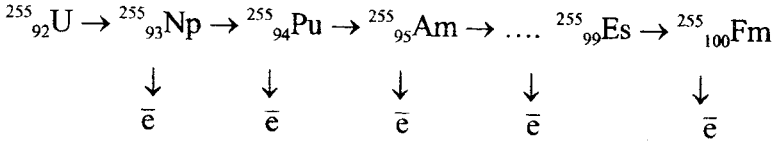
Neytron tutulması zamanı neytron artıqlığı olan  $A > 60$  kütlə ədədli nüvələr yaranır. Bu proses  $A > 260$  kütlə ədədli nüvələr alınana kimi davam edə bilər. Belə nüvələr üçün radioaktiv parçalanma sürəti neytronun tutulma sürətindən böyük olur. Onlar neytronla hədsiz yüklənmiş olurlar və ona görə də  $\alpha$ -parçalanma, yaxud qəlpəli bölünmə baş verir. Neytron tutulması güclü neytron dəstəsi əmələ gələn hər bir yerdə baş verə bilər.



*Bəzi süni elementlərin plansız sintezi çox maraqlı misaldır.*

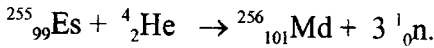
*Bu 1952-ci ildə Sakit Okeanda nüvə partlayışı zamanı baş vermişdi. Radioaktiv buludun tədqiqi göstərdi ki, istilik-nüvə*

*partlayışında uran-238 izotopu 17 neytron tutaraq çox ağır urana –  $^{255}_{92}\text{U}$  çevrilir. Qeyri-sabit izotop parçalanaraq naməlum element əmələ gətirir.*



*Müxtəlif radioaktiv izotoplar arasında mendeleyevium*

*$^{256}_{101}\text{Md}$  da var idi. O, aşağıda göstərilən reaksiya ilə əmələ gəlmişdi*



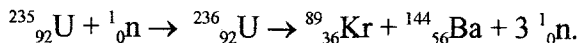
*Mendeleyeviumu Yerdə ilk dəfə olaraq qeydə almışdılar, çünki onun yarımparçalanma dövrü 56 gündür.*

### **Zəncirvari nüvə reaksiyaları**

Parçalanma üçün lazım olan enerjini yaratmaq üçün nüvə kənardan hər hansı bir hissəcik tutursa və bu hissəcik son-

radan həmin reaksiya nəticəsində yenidən yaranırsa, deməli zəncirvari nüvə reaksiyası baş verir.

Almaniyada 1934-cü ildə Noddak tərəfindən fərz edilmiş, 1938-ci ildə Qan və Ştrassman tərəfindən kəşf edilmiş bu reaksiya müasir atom texnikasının əsasını təşkil edir. Uranın parçalanması zamanı bariumu müşahidə edən alimlər, heç bir məlum nüvə reaksiyasına bənzəməyən bu prosesi izah edə bilmədilər



Almaniyadan olan emiqrantlar Meytner və Friş uranın iki qəlpəyə bölündüyünü nəzəri əsaslandırılmış və təcrübi sübut etmişdilər.

Əmələ gələn neytronlar həmin reaksiyanın sonrakı gedişini də təyin etdilər. Reaksiyaya girən neytronların miqdarının reaksiya nəticəsində alınan neytronların miqdarına nisbəti vahiddən çox olarsa reaksiya davam edə bilər.

Perren tərəfindən  ${}_{92}^{235}\text{U}$  uranın böhran kütləsi müəyyən edildi. Əgər uran sferasının radiusu 9 sm və kütləsi 50 kq olarsa, onda ani zamanda idarə olunmayan nüvə reaksiyası partlayış şəklində baş verir.

Zəncirvari nüvə reaksiyası haqqında eşidən Fermi belə qərara gəldi ki, nəticədə çox böyük miqdarda enerji ayrılmalıdır. O, ilk dəfə 1942-ci ildə Çikaqoda idarə olunan nüvə reaksiyasını yaratdı.

### **Təbii radioaktivlik**

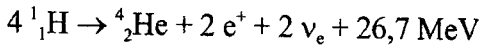
Təbii radioaktivlik üçün kütlə ədədinin saxlanması qanunu belə olar

$$A_{\text{nüvə}} = \sum_i A_i$$

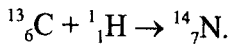
$A_{\text{nüvə}}$  – ana nüvənin kütlə ədədi

$A_i$  – nəticədə alınmış nüvənin və ya hissəciyin kütlə ədədi.

Adətən nüvə reaksiyalarından danışarkən Günəşdə gedən nüvə proseslərini yada salırırlar. Bu nüvə reaksiyalarından Yer üçün ən vacibliyi Günəş enerjisi adlanan reaksiya

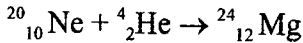
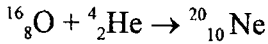
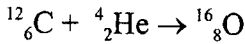
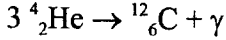


yaxud protonun  $^{13}_6\text{C}$  karbon izotopu ilə reaksiyasıdır



## Heliumun çevrilməsi prosesləri

Günəşdə, günəş maddəsinin sıxlığı  $10^3 \text{ q/sm}^3$ , temperaturu  $10^8$  dərəcə olan helium nüvəsinin iştirakı ilə yeni nüvələrin sintezi baş verir



Nüvənin yükünün sonrakı artımları elektromaqnit qarşılıqlı təsirini yaratdığından çevrilmələr daha mümkün olmur.

## Süni radioaktivlik

Təbii radioaktivlik qeyri-sabit izotopların sabit izotoplara keçmək üçün dəyişməsi ilə bağlıdır. Süni radioaktivlik sabit izotopların hər hansı bir hissəciklə bombardman edilməsi zamanı meydana çıxır.

Nəticədə stabil və ya qeyri-stabil izotoplar alınır. Bunların hər birini ayrı-ayrılıqda gözdən keçirək.



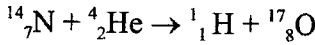
## Sabit nüvə əmələ gətirən süni radioaktivlik

1919-cü ildə Rezerford ilk dəfə olaraq əl-

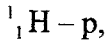
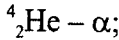
kimyaçıların əsrlər boyu arzuladığı bir problemi

həyata keçirdi.

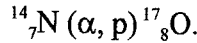
Azotun  $\alpha$ -hissəciklərlə bombardman edilməsindən hidrogen və oksigen aldı



əgər



Onda həmin reaksiya Bete və Fleşmana görə belə yazıla bilər

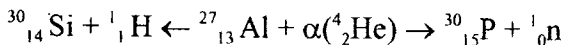


## Qeyri-sabit nüvələrin əmələ gəlməsi ilə süni radioaktivlik

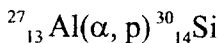
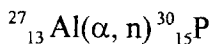
1934-cü ildə F.J.Küri bəzi stabil elementlərin nüvələrini  $\alpha$ -hissəciklərlə bombardman edərkən başqa elementlərin radioaktiv nüvələrini almışdır. Bu kəşf Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

Alüminiumun  $\alpha$ -hissəciklərlə bombalanması iki paralel nüvə reaksiyasının getməsinə səbəb olur



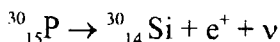


və yaxud Bete və Fleyşmana görə



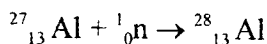
İkinci reaksiya 95% proton alınması ilə gedir, birinci reaksiya üzrə neytron əmələ gəlməsi cəmi 5% olur.

Tədqiqatlar göstərdi ki, alüminiuma  $\alpha$ -şüaların təsiri dayandırıldıqda proton və neytronlar yoxa çıxırlar, pozitron seli isə bir müddət müşahidə olunur ki, bu da alınmış fosfor izotopunun qeyri-sabitliyi ilə izah olunur. Fosfor izotopu  $\beta^+$ -parçalanma nəticəsində pozitron şüalandırır

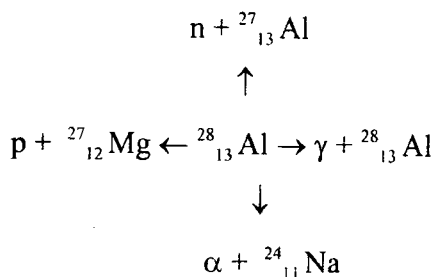


1934-cü ildə Ferminin  ${}^1_0\text{n}$  neytronu kəşf etməsi süni radioaktivlik sahəsində aparılan işləri daha da sürətləndirdi. Yenidən kəşf olunan hissəcik elə bil ki, ancaq nüvələrin bombardmanı üçün yaranmışdı. O, çox asanlıqla nüvəyə daxil olurdu, çünki yüksüz hissəciklər kimi kulon qarşılıqlı təsirində iştirak etmirdi.

Güclü qarşılıqlı təsirdə iştirak etməklə, o çox böyük miqdarda enerji ayrılmasına səbəb olurdu. Qızmış aralıq nüvə öz enerjisinin artıq hissəsini nüvədən qopan bu və ya digər hissəciyə verməklə soyuyurdu

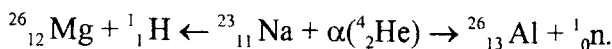


Əmələ gələn qeyri-sabit  ${}_{13}^{28}\text{Al}$  nüvəsi paralel reaksiyalar mənbəyinə çevrilirdi



Parçalanma istiqaməti neytronların gətirdiyi enerjiden asılıdır. Energetik imkanların artması ilə bu keçidlər daha müxtəlif olur.

$\alpha$ -hissəciklərlə gedən reaksiyaları misal gətirə bilərik



## **Ağır nüvələrin sintezi ilə bağlı olan süni radioaktivlik**

Yüngül nüvələrin qovuşması ilə iri nüvələrin əmələ gəlməsi enerji ayrılması ilə gedir. Bu həm də ona görə mümkündür ki, kiçik məsafələrdə nüvələrarası güclü cazibə qüvvələri təsir edir.



*Kulon itələmə qüvvələrinin yaratdığı  
energetik maneəni necə dəf etməli?*

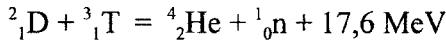
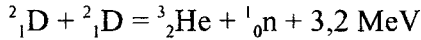
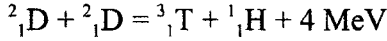
*Energetik maneəni azaltmaq lazımdır, bunun üçün kiçik yüklü nüvə götürülməlidir, məsələn 1932-ci ildə Yurinin kəşf etdiyi  ${}^2_1\text{D}$ , 1934-cü ildə Olifant, Xartek və Rezerfordun tapdıqları  ${}^3_1\text{T}$  kimi nüvələr.*

*Yaxınlaşan nüvələrə energetik maneəni aşma bilən enerjini vermək lazımdır.*

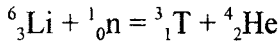
*Bu enerji çox böyükdür – sintez temperaturu  $10^7\text{K}$ -dən yüksək olmalıdır. Ona görə də ulduzlarda bu proses asan gedir.*

*Yerdə bu temperatur ancaq nüvə enerjisi ilə müqayisə oluna bilər. Ona görə də atom bombasının yaradıcıları belə*

*hesab edirdilər ki, nüvə bombasının daxilində yüngül nüvələri yerləşdirsələr, o zaman onun partlaması istiliknüvə sintezinin aparılmasına lazım olan enerjini verər*

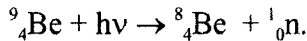
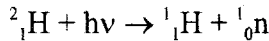


*Sonuncu reaksiya üçün tritiumu  ${}^3_1\text{T}$  süni yolla alırar*



### **Fotonüvə reaksiyaları**

Böyük enerjilərin elektromaqnit şüalanması ilə gedən radioaktiv çevrilmələr belə adlanır. Məsələn, tallium izotopu  ${}^{208}_{81}\text{Tl}$  2,62 MeV enerji şüalandırmağa qabildir, ona görə də aşağıdakı çevrilmələ səbəb olur



### III FƏSİL

#### ŞÜALANMA NÖVLƏRİNİN MADDƏLƏRƏ TƏSİRİ

Maddələrin şüalarla qarşılıqlı təsirini hər elm sahəsi öz nöqteyi-nəzərindən öyrənir:

- fiziklər elementar hadisələrlə maraqlanırlar;
- bioloqlar hüceyrələrdəki dəyişikliyi, meydana çıxan mutasiyaları (yeni bioloji əlaməti), maddələr mübadiləsini tədqiq edirlər;
- tibb işçiləri şüa xəstəliyini müalicə məqsədini güdürlər;
- kimyaçılar radiasiya-kimyəvi reaksiyaların mexanizmini, bu reaksiyaların gətirdiyi sistemləri tədqiq edirlər.

Şüalanma zamanı maddələrdə nələr baş verdiyini nəzərdən keçirək və unutmayaq ki, şüalanma enerji – kvant, yaxud hissəcik - toplusudur.

Hər hansı şüalanma növü atom və molekulların həyəcanlanmasına və ya ionlaşmasına və beləliklə də kimyəvi reaksiyaların getməsi üçün əsas olan elektron qılaflarının dəyişilməsinə səbəb olur.



*Şüalanmanın maddələrə təsiri nədən asılıdır – şüalanmanın keyfiyyət və ya kəmiyyət xarakteristikasından, yoxsa şüalanan obyektədən?*

*İdrak nəzəriyyəsinin əsas tərkib hissəsi olan əksetmə qanununa görə həm şüalanma, həm də şüalanan obyektlər dəyişikliyə uğrayır.*

Şüalanan maddədə şüalanmanın təsirindən onun keyfiyyət və kəmiyyət xarakteristikasından asılı olaraq baş verən dəyişiklikləri nəzərdən keçirək.

### **Yüklü ağır hissəciklərin maddələrə təsiri**

Ağır yüklü hissəciklərə aşağıdakılar aiddir:

- protonlar;
- $\alpha$ -hissəciklər;
- ağır metalların ionları;
- radioaktiv atomların bölünməsindən alınan qəlpələr.

Onların maddələrə təsir mexanizmləri arasında ümumi cəhətlər çoxdur, bununla belə müəyyən fərqlər də mövcuddur.

Şerti olaraq onları iki qrupa bölmək olar, birinci – protonlar və  $\alpha$ -hissəciklər, ikinci – ağır metalların ionları və radioaktiv atomların bölünməsindən alınan qəlpələr.

Ağır yüklü hissəciklər öz enerjisini maddədə atom və molekulların elektron qılafları, yaxud nüvələri ilə təsirdə itirirlər. Birinci növ təsir ionlaşma, ikinci növ – radiasiya, yaxud tormozlanma şüalanmasıdır. Yadda saxlamaq lazımdır ki, əsas enerji itkisi ionlaşma zamanı baş verir.

Ağır yüklü hissəciklərin maddədə hərəkəti düz xətdədir. Onlar yalnız nüvə ilə qarşılaşanda yollarını əyirlər ki, buna görə də maddədə müəyyən yürüşlə xarakterizə olunurlar. Vahid məsafədə orta ionlaşma itikisi hissəciyin enerjisinin azalması ilə artır. Yürüşün axırına yaxın vahid məsafədə ionlaşma enerjisinin itkisi yürüşün əvvəlinə nisbətən  $\alpha$ -hissəciklər üçün 3 dəfə, protonlar üçün 10 dəfə çox olur. Müvafiq olaraq, hissəciklərin enerjisinin artması ilə radiasiya təsirinin payı artır. Hər bir konkret maddə üçün böhran enerjisi mövcuddur ki, bu zaman ionlaşma və radiasiya itkiləri bərabərləşir. Deməli, hissəciyin enerjisinin artması ionlaşmanı azaldır və tormozlanma şüalanmasının yaranmasına səbəb olur. Beləliklə, hissəciklərin enerjisini artırmaqla maddələrin şüalarla qarşılıqlı təsirinin keyfiyyət xarakterini dəyişmək olar.

Şüa enerjisinin xüsusi ionlaşma itkisinin keçilən yoldan asılılığını ifadə edən Breqq əyrisi həmin yolun müxtəlif nöqtə-

lərində müxtəlifdir. Əvvəlcə maddənin ionlaşmasına görə rəvan artır, yolun sonunda isə maddənin elektronlarının tutulması ucbatından sürətlə azalır.

Ağır yüklü hissəciklər, məs., ağır metalların ionları və radioaktiv atomların bölünməsindən alınan qəlpələr öz enerjilərinin bir hissəsini elektron qılafları ilə qarşılıqlı təsirdə olduqda itirirlər. Bu da onların yükünün dəyişməsinə səbəb olur. Yükün azalması ilə ionlaşmaya sərf olunan enerji itkisi azalır, nüvə ilə qarşılıqlı təsire sərf olunan enerji artır.

Hissəciklərin maddələrlə qarşılıqlı təsirini onların kütləsi də təyin edir. Eyni enerjili ağır yüklü hissəciklər maddələrlə təsirdə olarkən onların kütləsinin azalması ilə ionlaşma enerjisinin itkisi azalır. Xırda hissəciklərdə iri hissəciklərə nisbətən maddənin ionlaşmasına sərf olunan enerji itkisi zəifdir. Deməli, hissəciyin kütləsi azaldıqca, onun maddəyə nüfuz dərinliyi artır.

Beləliklə, ionlaşma prosesləri üçün hissəciyin enerjisinin və kütləsinin azalması, radiasiya prosesləri üçün isə bombardman edən hissəciklərin enerjisinin və kütləsinin artması daha əlverişlidir.

Ağır hissəciklər maddələrə təsir edərkən ionlaşma ener-



jisinin 1/3 hissəsi hissəciklər maddədən keçərkən əmələ gələn ikinci dərəcəli elektronların payına düşür. Bu ikinci dərəcəli şüalanma mənbələrinin enerjisi, onların sabit energetik vəziyyətə keçənə qədər ionlaşmada və maddə molekullarının həyəcanlanmasında iştirak etmələrinə kifayət edəcək qədər böyük olur. Bu enerji bərabər miqdarda ayrılırmı, ikinci dərəcəli elektronların enerjisinin yarısı 100 eV-a bərabər hissələrlə ayrılır. Bu zaman aralıq hissəciklər – müəyyən şəkildə yerləşən müxtəlif ionlar, həyəcanlanmış atom və molekullar əmələ gəlir.

İkinci dərəcəli elektronların maddədə əmələ gələn ionlaşma və həyəcanlanma sahələrinin fəza xarakteristikasına necə təsir etdiyini nəzərdən keçirək. İkinci dərəcəli elektronların maddə ilə qarşılıqlı təsirinin növündən asılı olaraq qısa və haçalanmış (şaxələnmiş) trek (yol), şpor və bloblar əmələ gəlir.

**Treklər** ikinci dərəcəli elektronların hərəkət yolunu müəyyən edir və xətt şəklindədir.

**Şporlar** şüalandırılan maddənin sferik ionlaşma sahəsidir, treklərlə yanaşı yerləşir. Qazlarda onların ölçüləri  $10^2$  nm-dir, 2-3 ion və ya molekuldan ibarətdir.

**Bloblar** elektronların qarşı-qarşıya toqquşması zamanı əmələ gəlir. Onların enerjisi 500 eV-a çatır ki, bununla da on-

ların nisbətən böyük ölçülü olması izah oluna bilər. Tərkiblərin 20-yə qədər aktiv (fəal) hissəcik olur.

**Qısa trek adlanan silindrlər** bir neçə şporun üst-üstə düşməsindən əmələ gəlir. Bu zaman elektronların enerjisi 500÷5000 eV həddində olur. Bu misaldan görünür ki, elektronun enerjisi artdıqca şporlar və bloblar arasında məsafə onlar bir-birilə birləşib silindr alınana qədər azalır. Onlar kolonvari (sütunvari) ionlaşmanı – ağır hissəciklərin treki bütöv silindrik formalı olduğu üçün belə adlanır – xatırladırlar.

Elektronun enerjisi 5000 eV-dan çox olduğu zaman əsas trekdən haçalanma baş verir ki, bu da şaxəli treki yaradır.

### **Neytronların maddəyə təsiri**

Neytral ağır hissəcik olan neytron elektron qılfı ilə qarşılıqlı təsirdə olmadığı üçün şüalanmanın zəifləməsi onların nüvələrlə təsiri ilə təyin olunur.

Neytronlar nüvələrlə qarşılaşarkən dörd növ səpələnmə baş verir:

- qüvvətli səpələnmə
- zəif səpələnmə
- neytronların absorbsiyası (udulması)
- nüvənin bölünməsi

## **Qüvvətli səpələnmə**

Qüvvətli səpələnmə maddələr sürətli və aralıq neytronlarla şüalanan zaman baş verir. Bu proses bilyard şarlarının toqquşmasını xatırladır. Neytron nüvəyə daxil olmur, nüvə radiusu məsafəsində təsirdə olur. Neytronlar kütləcə onlara bərabər hidrogen atomları ilə toqquşarkən öz enerjilərini hidrogenə verərək itirirlər.

Əmələ gələn yüksəkenerjili proton nüvədən uçarkən, ətrafındakı molekul və atomları ionlaşdırır. Beləliklə, hidrogen-tərkibli sistemlərin yüksəkenerjili neytronlarla şüalanması yüksəkenerjili proton radiasiyası mənbəyinə çevrilir. Deməli, neytronun hidrogenlə qüvvətli qarşılıqlı təsirindən qaytarılma protonları yaranır ki, bu da əsas ionlaşmaya səbəb olur.

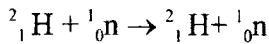
## **Zəif səpələnmə**

Bu səpələnmə nüvənin minimal həyəcanlanma enerjisindən çox olan enerjiyə malik neytronlarda baş verir. Yüksək enerjili neytron nüvəni bombalayarkən, nüvə tərəfindən tutulur.

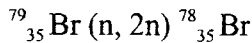
Lakin qeyri-sabit olan həyəcanlanmış nüvə yenidən parçalanaraq, ilkin və  $\gamma$ -şüalanmaya nisbətən daha aşağı enerjiyə malik ikinci dərəcəli neytron (neytronlar) ayırır.

Reaksiya Bete və Fleyşmana görə belə olacaq:

$$A(n, n)A$$

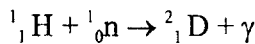


$$A(n, 2n)A$$



### **Nüvənin neytronları udması (absorbsiyası)**

Bu proses neytronların enerjisi az olduqda baş verir. Maddə yüksəkenerjili neytronlarla bombardman edilərkən nüvə ilə toqquşmalardan sonra neytronlar öz enerjilərini itirir. İlkin neytron istilik neytronuna çevrilir, yəni onun enerjisi istilik hərəkəti enerjisinə bərabər olur



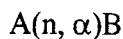
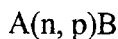
$$H(n, \gamma) D$$

Neytronlar nüvəyə birləşən zaman nüvə reaksiyası nəticəsində süni radioaktiv izotoplar yaranır. Bu zaman sistemin ümumi enerjisinin azalması baş verir. Yaranan  $\gamma$ -şüalanmanın enerjisi neytronla nüvənin əlaqə enerjisinə bərabər olur.

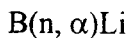
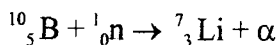
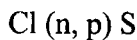
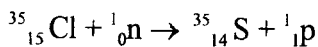
### **Nüvənin bölünməsi**

Neytronların nüvə tərəfindən udulmasından fərqli olaraq nüvənin bölünməsi zamanı neytronun enerjisi çox yüksək olmalıdır. Bölünmə prosesi nüvənin kütləsindən asılıdır.

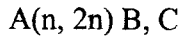
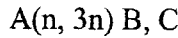
Nüvəsinin yükü  $<40$  olan yüngül atomlar neytronlarla şüalandırılarkən yüklü hissəciklər əmələ gətirməklə qəlpələ-nirlər



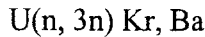
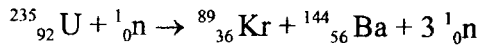
Məsələn:



Ağır nüvələrin neytronlarla şüalanması nüvənin bölünməsinə səbəb olur



Məsələn:



Beləliklə, aydın görünür ki, neytronların enerjisindən asılı olmayaraq maddə onlarla bombardman edilərkən ionlaşmanı neytral hissəciklər yox, neytronların elementlərin nüvələri ilə qarşılıqlı təsirindən yaranan hissəciklər həyata keçirir:

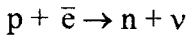
- protonlar
- yüklü hissəciklər
- radioaktiv nüvələr
- $\gamma$ -şüalanma və s.

#### **Maddələrə elektronların təsiri**

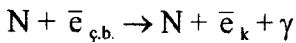
Elektron şüalanması həm nüvə ilə, həm də elektron qı-lafı ilə qarşılıqlı təsirdə ola bilər

**Elektronların nüvə ilə qarşılıqlı təsiri** – absorbsiya və səpələnmə ilə xarakterizə olunur.

**Elektronların nüvə ilə udulması** şüalanma elektronlarının və nüvədəki protonların sayının azalmasına gətirir



**Nüvə üzərində səpələnmə** – hər bir elektronun enerjisini azaldır. Yüksəkenerjili elektronun nüvə üzərində qüvvətli səpələnməsində nüvənin sahəsi onu ləngidir və kənara meyləndirir. Onun itirdiyi enerji foton enerjisinə çevrilir, yaranan şüalanma tormozlanma (ləngimə) şüalanması adlanır

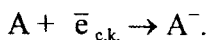


**Elektronların elektron qılafları ilə qarşılıqlı təsiri**

Bu da absorbsiya və səpələnmə ilə xarakterizə olunur

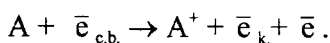
**Elektronların elektron qılafları üzərində absorbsiyası prosesi** – nüvədə baş verən analogi prosedən fərqlənir. Elektronların atomun elektron qılafları üzərində absorbsiyası zamanı elektronların sayı dəyişmir, lakin bu zaman atom iona çevrilir, ki bu da şüalanmanın keyfiyyətinin dəyişməsinə səbəb olur. Məsələn, havada elektron itkisinin çox böyük hissəsi ionlaşma ilə bağlıdır.

Yeri gəlmişkən qeyd edək ki, ionlaşma ən çox qazın təbiətindən, ən az isə şüalanmanın enerjisinindən və növündən asılıdır. Nəzərə almaq lazımdır ki, bu reaksiya çox kiçik enerjili elektronlar üçündür



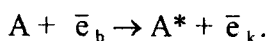
### **Elektron qılaflarında elektronların zəif səpələnməsi**

– çox yüksək enerjili elektron şüalanmasının təsirindən baş verir. Enerji elektronu atomun elektron qılafindan çıxartmaq və ona kinetik enerji verə bilmək üçün kifayət etməlidir. Bu da ionlaşmaya gətirib çıxarır, amma bu dəfə kation alınır



### **Elektron qılaflarında elektronların qüvvətli səpələnməsi**

– elektronun enerjisi böyük olan hallarda baş verir. Bu növ səpələnmədə elektron enerjisini çox az itirir və atom həyəcanlanmış hala keçir





Elektronların elektron qılaflarında absorbsiyası şüalanmanı keyfiyyətcə dəyişirsə, elektronların səpələnməsi onun kəmiyyətcə dəyişməsinə səbəb olur.

### **Maddəyə pozitronun təsiri**

Digər hissəciklərdən aralı yerləşən sərbəst pozitron və elektronun qarşılıqlı təsiri zamanı iki foton buraxmaqla tam dağılma baş verir və kütlə enerjiyə keçir.

Elektronun və pozitronun kütləsi 0,00055 kütlə vahididir ki, bu da 0,51 MeV enerjiyə ekvivalentdir. Beləliklə iki fotonun enerji cəmi 1,02 MeV-a bərabərdir

$$e^+ (0,00055 \text{ kv}) + \bar{e} (0,00055 \text{ kv}) = \gamma(0,51 \text{ MeV}) + \gamma(0,51 \text{ MeV})$$

Şübhəsiz ki, pozitron şüalanma atomun elektron qılafları ilə qarşılıqlı əlaqəyə girəcək. Lakin bu yuxarıda göstərilənlərdən fərqlənəcək, çünki burada nüvənin təsiri özünü göstərir. Ağır nüvənin yaxınlığında iki foton əvəzinə yüksəkenerjili bir foton meydana çıxır. Bunu belə göstərmək olar:

$$e^+ (0,00055 \text{ k.v.}) + \bar{e} (0,00055 \text{ k.v.}) = \gamma(1,02 \text{ MeV})$$

Deməli, maddə pozitronlarla şüalanarkən onlar yüksək energetikalı foton şüalanması mənbəyinə çevrilirlər.

Celepov və Vlasov müəyyən etmişdilər ki, qatı maddələrdə pozitronun orta yaşama dövrü təxminən  $1,5 \cdot 10^{-12}$  saniyəyə bərabərdir. Bu onun ləng vəziyyətə keçməsi üçün lazım olan vaxtdan 300 dəfə böyükdür. Pozitronun tam dağılması yalnız o tam dayandıqdan sonra baş verir.



**Ləng pozitron elektronlarla qarşılıqlı təsirin 20%-də pozitronium Ps əmələ gətirir.**

*Pozitronium kvaziatomdur – bu zaman pozitron nüvə rolunu oynayır. Əgər adi atomda elektron ağır nüvə ətrafında fırlanırsa, pozitroniumda eyni kütləli pozitron və elektron ümumi ağırlıq mərkəzi ətrafında fırlanır. Maddənin elektronları ilə pozitroniumun elektronları bir-birini əvəz edə bilərlər.*

*Pozitronium da tam dağılır. Reaksiya mühitinə oksidləşdirici, elektron çatışmazlığı olan yaxud təksaylı elektronlu molekullar əlavə edilməsi tam dağılma üçün əlverişli şərait yaradır və bundan pozitron şüalanmasını dayandırmaq (söndürmək, ləğv etmək) üçün istifadə edilə bilər.*

## Maddəyə fotonların təsiri

Hissəciklərin maddəyə təsiri iki növə ayrılır – ilkin fotonlar və fotonun enerjisi hesabına yaranmış ikinci dərəcəli hissəciklər.

### Fotonlarla nüvələrin qarşılıqlı təsiri

Bu təsir növünü 1933-cü ildə eyni zamanda bir neçə müəllif - Jolio-Küri, Meytner, Blekett, Okkialini, Çedviq kəşf etdi. Əvvəl nəzərdən keçirilən reaksiyadan fərqli olaraq fotonların nüvələrlə və atomların elektron qılafları ilə təsirindən şüalı enerjinin kütləyə keçməsi baş verir.

Foton yüksək enerjiyə malik olduğu zaman qarşılıqlı təsir mümkündür. Həqiqətən də, 0,00055 k.v.-nə bərabər kütləli iki hissəcik əmələ gəlməsi üçün fotonun enerjisi 1,02 MeV-dan az olmamalıdır

$$h\nu (1,02 \text{ MeV}) = e^+ (0,00055 \text{ k.v.}) + \bar{e} (0,00055 \text{ k.v.})$$

Bu zaman nüvənin sahəsində hissəcik cütü yaranır:

- pozitron  $e^+$

- elektron  $\bar{e}$

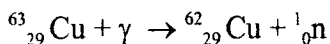
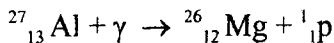
Fotonun enerjisi 1,02 MeV-dan çox olarsa, onda o, əmələ gələn hissəciklərin kinetik enerjisinə çevrilir

$$h\nu = 2 \cdot 0,00055 \text{ k.v.} + E_k \bar{e} + E_k e^+$$

Elektron və pozitronun sonrakı taleyi fərqlidir. Əmələ gələn elektron o biri elektronlardan heç nə ilə fərqlənmir. Pozitron isə aldığı kinetik enerjini itirir, atomun elektronlarından hər hansı biri ilə birləşir, tam dağılaraq iki foton şüalandırır

$$\bar{e} + e^+ = \gamma + \gamma.$$

$\gamma$ -şüaların enerjisi yüksək olarsa, onlar nüvəyə nüfuz edərək ondan nuklonlar qopara bilirlər



Əgər  $\gamma$ -şüaların təsiri ilə atomun elektron qılıfından elektron çıxdığı fotoeffektə müqayisə etsək, onda bu prosesi nüvə fotoeffekti adlandırı bilərik.

***Fotonların atomların elektron qılıfları ilə qarşılıqlı təsiri ya səpələnməyə, ya da absorbsiyaya səbəb olur.***

**Fotonların elektronlar üzərində səpələnməsi, yaxud Kompton effekti** - Fotonların enerjisinin geniş intervalında baş verir. Məhz bu təsir əsasən  $\gamma$ -şüalanmanın maddə ilə qarşılıqlı təsirini xarakterizə edir. Fotonların elektronlar üzərində səpələnməsi iki bilyard şarının toqquşmasına bənzəyir, yəni  $\gamma_i$  – ilkin foton korpuskulyar xassə göstərir.

Atom toqquşmadan sonra  $\gamma_i$  - ilkin kvantı udmur. Kvant hələ yaşamaqda davam edir, lakin enerjisi azalır. Deməli,  $\gamma_s$  – ikinci dərəcəli səpələnmiş şüalanmanın dalğa uzunluğu artır. Toqquşma zamanı atoma ötürülən enerji onun elektron qılafından elektron qopması üçün kifayət edəcək qədərdir. Bu da Kompton elektronu adı almışdır.

Şüalanmanın zəifləməsində yalnız Kompton elektronuna verilən enerji rol oynayır. Qalanı ilk istiqamətdən  $\theta$  bucağı qədər meyl etmiş  $\gamma_s$  – səpələnmiş fotonla aparılır. Kompton elektronuna  $\gamma_i$  - ilkin fotonun enerjisinin yalnız bir hissəsi ötürülür.

$$E_{\text{Kompton } e^-} = E\gamma_i - E\gamma_s$$

Təsir nəticəsində əmələ gələn Kompton elektronları və səpələnmiş fotonlar havanın ionlaşmasında iştirak edirlər.

## Fotonların elektronlarda absorbsiyası, yaxud fotoeffekt

Prosesi zəif foton şüalanması xarakterizə edir. Hissəciklərin toqquşması zamanı  $\gamma$  fotonun bütün enerjisi atoma verilir və ondan sərbəst elektron  $\bar{e}$  qoparılır.

Bu elektron istənilən elektron qılafından qopa bilər, onun yerini xarici qılafdan olan elektron tutar. Onun ilkin son vəziyyətinin enerji artıqlığı yumşaq şüalanmada, yəni Oje elektronlarının əmələ gəlməsində özünü göstərir. Bu əsasən aşağımolekullu maddələr üçün xarakterikdir.

Qoparılmış elektronun enerjisi əlaqəli elektronun qopmasına sərf olunan foton enerjisindən az olur

$$E_{\bar{e}} = h\nu - E_{\text{əlaqə } \bar{e}}$$

$E_{\text{əlaqə } \bar{e}}$  - elektronun atom qılafından ayrılmasına sərf olunan işdir.

Bu kəmiyyət qopmanın:

- hansı elementdən
- hansı atom qılafından baş verməsindən asılıdır.

Bütövlükdə foton şüalanmasının təsiri iki prosedən ibarətdir – ilkin ionlaşma və ikinci dərəcəli elektronların əmələ gəlməsi. Əmələ gələn elektronlar ilkin foton şüalanmasının zəifləməsinə səbəb olur. Foton şüalanmasının maddəyə təsiri əsasən ikinci dərəcəli elektronların təsiridir. Ona görə də foton şüalanmasını ikinci dərəcəli elektronların ölçülməsi ilə qiymətləndirirlər. Bunun üçün xüsusi ölçmə üsullarından istifadə edirlər.

## IV FƏSİL

### RADİASIYA-KİMYƏVİ REAKSİYALAR

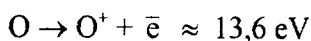
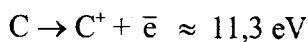
Məlum olduğu kimi, kimyəvi proses o zaman mümkündür ki, onun aparıldığı zaman sistem aşağı energetikalı vəziyyətə keçsin. Lakin aralıq kompleksin energetik baryerini keçə bilmək üçün enerji olmalıdır. Bu keçid üçün sərf olunan enerji növlərinə görə kimya bir neçə bölməyə ayrılır: termokimya (istilik enerjisi), elektrokimya (elektrik enerjisi), fotokimya (ışıq enerjisi). 1950-ci ildə Olson kimyəvi reaksiyaların aparılması üçün atom nüvəsinin enerjisini təklif edərkən kimyanın yeni bölməsi – radiasiya kimyası meydana çıxdı.

Nüvənin yüksək enerji ilə şüalanması bütün mövcud kimyəvi əlaqələri qırır. Ona görə də radiasiya kimyasının köməyi ilə digər enerji növlərinin istifadəsi ilə alınmayan yeni birləşmələri sintez etmək olar. Göstərilən misaldan kəmiyyətin (yüksək şüalanma enerjisinin) keyfiyyətə (yeni materiallar alınmasına) keçmə qanunauyğunluğu aydın görünür. Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların energetik xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək.

## **Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların energetik xarakteristikaları**

Radiasiya süalanmasını əksər hallarda ionlaşma adlandırırlar, çünki ilk müşahidə olunan effekt ionların alınmasıdır. Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların bu mərhələsinin energetikasını nəzərdən keçirək.

Bir molekulun havada bir cüt iona çevrilməsi çox yüksək enerji  $\approx 34$  eV ilə gedir. Bu enerji əlaqə enerjisindən və ionlaşma potensialının enerjisindən qat-qat çoxdur. Məsələn, əlaqə enerjisi C–H  $\approx 4$  eV və C–C  $\approx 2,6$  eV olduğu halda aşağıda göstərilən reaksiyalar üçün ionlaşma potensialı belə olur:



Radiasiya kimyasında radiasiya-kimyəvi reaksiyaların energetik xarakteristikası üçün:

- radiasiya-kimyəvi çıxım (G kəmiyyəti)
- ion çıxımı
- kvant çıxımı
- rada
- radiasiya-kimyəvi prosesin çıxımı



## Radiasiya-kimyəvi çıxım (G kəmiyyəti)

G kəmiyyəti atom, molekul və ya kimyəvi əlaqənin miqdarının hər udulan 100eV enerjiyə düşən dəyişməsinə göstərir və  $G=M/100$  eV düsturu ilə hesablanır. M – reaksiyada iştirak edən molekullar, 100 eV – üç molekulun ionlaşma enerjisidir.

Radiasiya-kimyəvi çıxımı G kəmiyyətini belə təyin etmək olar:

$$D_{\text{udulma}} \rightarrow 0 \text{ olduğu halda } G = k \lim(dc/dD_{\text{udulma}}).$$

Burada  $c$  – şüalandırılan maddənin konsentrasiyası (qatılığı),  $q$ ;  $D_{\text{udulma}}$  – udulan şüanın miqdarı,  $Q_r$ ;  $k$  – 9,6474-ə bərabər olan əmsal, vahidi  $q$  molekul  $Q_r / 100$  eV, mol – dur.

G kəmiyyəti mayelərdə və bərk maddələrdə gedən proseslərin öyrənilməsində istifadə edilir.

## İon çıxımı

İon çıxımı prosesdə iştirak edən molekulların ion cütü əmələ gətirən enerjiyə nisbəti ( $M/34\text{eV}$ ) ilə ölçülür. Qazlarda radiasiya-kimyəvi proseslərin öyrənilməsi zamanı kvant çıxımından da istifadə olunur.

## **Kvant çıxımı**

Kvant çıxımı reaksiyada iştirak edib dəyişikliyə uğrayan molekulların  $M$  udulan kvantların  $nh\nu$  miqdarına düşən payını göstərir. Bu kəmiyyəti hesablamaq üçün  $M/ nh\nu$  düsturundan istifadə edilir.

## **Rada**

1965-ci ildə IV radioloji konqresdə qəbul olunmuş bu kəmiyyət istənilən maddədə şüalanmanı ölçmək üçün təklif edilmişdir. 1 rada 100erq/q, yaxud  $10^{-5}$  C/q, yaxud da  $62,5 \cdot 10^{12}$ eV/q udulan enerjiyə müvafiqdir. 1 meqarada (1 Mrada) =  $10^6$  rada.

## **Radiasiya-kimyəvi prosesin çıxımı**

Bu kəmiyyət maddələrdə  $\approx 10^{-6}$  GMD şəraitində baş verən kəmiyyət dəyişmələrini xarakterizə edir.  $M$  – şüalandırılan maddənin kütləsi,  $D$  – şüalanmanın miqdarı.

Molekulda bir kimyəvi əlaqəni dəyişdirmək üçün 1000 Mrad tələb olunur, ona görə də ionlaşdırıcı şüalanma kimya

texnologiyasının adi üsulları ilə müqayisə oluna bilməz. Məsələn,  $G=20b$ ,  $M=200$  və  $f.i.ə=50\%$  olarsa bir il ərzində 40 kq məhsul almaq olar.

Ona görə də radiasiya-kimyəvi reaksiyaların tətbiqi iki halda üstünlük təşkil edər:

- yüksək molekulyar çəkisinə malik olan polimerlərin alınmasında;
- getməsi üçün yalnız enerji təkanı tələb edən zəncirvari reaksiyaların aparılmasında.

### **Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların mexanizmi**

Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların (RKR) mexanizmini öyrənmək çox çətinliklidir, çünki:

- yüksəkenerjili şüa mənbələrini keyfiyyət və kəmiyyətə dəqiq təyin etmək, oxşarını tapmaq mümkün deyil;
- udulan enerji nəticəsində elə dərin çevrilmələr baş verir ki, sadə kimyəvi reaksiya çoxlu sayda elementar mərhələlərdən ibarət olur və hər bir mərhələnin öz sürət sabiti və mexanizmi vardır.

Radiasiya-kimyəvi reaksiyaların mexanizminin ilk izahını Lind özünün ion assosiasiyaları nəzəriyyəsində vermişdir. Bu nəzəriyyəyə görə mexanizm ionlaşma zamanı əmələ gələn ionların neytrallaşdırılmasından ibarətdir.

Lakin RKR-ın yüksək enerjisi onların mexanizminin adi ion mexanizmindən keyfiyyətcə fərqləndiyini müəyyənləşdirir. Şüalanma zamanı bir ion cütünün əmələ gəlməsi üçün ionlaşma enerjisindən daha çox enerji tələb olunur.

Əgər bu enerjinin artıqlığı yeni ion cütünün əmələ gəlməsi üçün kifayət deyilsə də, şüalandırılan maddənin əvvəllər məlum olmayan keyfiyyətcə yeni quruluşa keçməsinə artıqlaması ilə çatır.

RKR məhsullarının yüksək enerjisi onların xarakterini əsaslı olaraq dəyişir. Ona görə də şüalanma vaxtı elə ion, radikal və başqa aktiv mərkəzlər almaq olar ki, onlar adi kimyəvi reaksiyalarda heç cür alın bilməz.

Sonralar RKR üçün aşağıdakı mərhələlər müəyyənləşdirildi:

- həyəcanlanma
- ionlaşma
- sərbəst radikalların əmələ gəlməsi

## Atom və molekulların həyəcanlanması

Bu mərhələ nüvədə, atom və molekulda rəqs əmələ gəlməsinə və elektronların daha yüksək energetik səviyyəyə keçməsinə səbəb olur. Bu qeyri-sabit haldır və həyəcanlanmış atom  $A^*$  və molekulların  $AB^*$  azömürlülüyünü myəyyənləşdirir.

Atom və molekulların həyəcanlanmış vəziyyətindən başqa onların hədsiz həyəcanlanmış vəziyyətləri də mövcuddur  $A^{**}$  və  $AB^{**}$ , bu vəziyyətin enerjisi ilkin ionlaşma potensialından çoxdur. Bu vəziyyət aşağıdakı hallarda yaranır:

- ya elektronların ən aşağı orbitaldan ən yüksək orbitala keçməsi ilə

- ya da bir yox, birdən-birə iki elektronun həyəcanlanması ilə

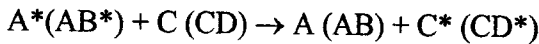
**Həyəcanlanmış atom  $A^*$  və molekulların  $AB^*$  əmələ gəlməsi** aşağıdakı hallarda mümkündür:

- şüalanmanın atom (A) və ya molekula (AB) təsiri (işarəsi

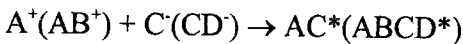
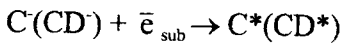
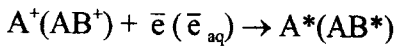
~~~~▶)



- həyəcanlanma enerjisinin həlledicinin atom ( $A^*$ ) və ya molekulundan ( $AB^*$ ) həll olan maddənin atomuna ( $C$ ) və ya molekuluna ( $CD$ ) verilməsi



- sadə və mürəkkəb ionların neytrallaşdırılması, bu zaman neytrallaşma enerjisi həyəcanlanma enerjisini yaradır



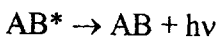
$\bar{e}_{aq}$  – hidratlaşmış elektron

$\bar{e}_{sub}$  – tam həyəcanlanmamış elektron

### **Həyəcanlanmış hissəciklərin sabitləşdirilməsi**

enerji ayrılması ilə gedir ki, bu enerji də aşağıdakı hallarda itir:

- digər molekullarla mexaniki toqquşmalarda
- fiziki proseslərdə (flüoressensiya, fosforessensiya və s.), məsələn flüoressensiyada

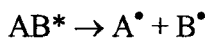


- kimyəvi reaksiyalar zamanı.

Belə reaksiyalara misal:

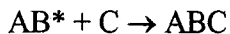
- molekul dissosiasiyası və sərbəst radikalların əmələ

gəlməsi



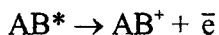
- yeni molekul əmələ gətirməklə gedən birləşmə reaksiya-

sı

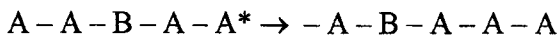


- elektron qopmasından müsbət ilkin ionların əmələ

gəlməsi



- izomerləşmə reaksiyası



## RKR-nın ion mexanizmi

RKR-nın göstərilən sxemlər üzrə getməsi elektron və ionlardan asılıdır. Elektron və ion iştirakında gedən prosesləri ayrılıqda nəzərdən keçirmək məqsədəuyğun olmazdı. Onlar bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqəli və bir-birləri üçün səbəb olduğuna görə ancaq Kulon qüvvələri təyin olunurlar.

Şüalanmanın bilavasitə maddəyə təsirindən alınan elektronlar və müsbət ionlar ilkin elektronlar və ionlar adlanır.

Onların enerjisi yüksəkdir, ona görə də mühitin sonrakı ionlaşmasında iştirak edir və ikinci dərəcəli elektron  $\bar{e}_{ik}$  və ionları yaradırlar.

İkinci dərəcəli elektronların enerjisi azalaraq ionlaşma üçün kifayət etməsə, lakin ətrafdakı elektronların istilik hərəkəti enerjisindən çoxdursa, bu zaman ikinci dərəcəli elektronlar  $\bar{e}_{ik}$  tam həyəcanlanmamış elektronlara  $\bar{e}_{sub}$  çevrilirlər. Onlar mühitin molekularının tormozlama prosesində enerji itirərək termallaşmış elektronlara  $\bar{e}_t$  çevrilirlər.



Qazlarda molekullar arasında məsafələr böyük olduğuna görə tormozlanma zamanı elektron əmələ gəldiyi yerdən çox uzağa düşə bilər. Bu zaman o qalan ana iona Kulon cazibə qüvvəsi təsir etmir.

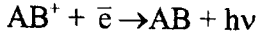
Mayelərdə molekullar bir-birinə yaxın yerləşdiyi üçün elektron Kulon qarşılıqlı təsiri nəticəsində müsbət iondan çox uzağa gedə bilmir. Məhz buna görə də mayələr üçün elektronun relaksasiyası (zəifləməsi) prosesi xarakterikdir.

Elektronun polyar mayelərdə yolu qeyri-polyar mayələrə nisbətən qısadır. Polyar həlledicilərdə elektronla mühit molekulları arasındakı Kulon qarşılıqlı təsirindən solvatlaşmış elektron  $\bar{e}_{\text{solv}}$  yaranır. Həlledici su olarsa, hidratlaşmış elektron  $\bar{e}_{\text{aq}}$  yaranır.

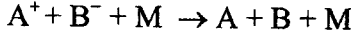
Bütün yüklü hissəciklər kimi **elektron və ionlar** üçün də neytrallaşma, dissosiasiya və yeni ionların əmələ gəlməsi reaksiyaları xarakterikdir.

Xüsusilə də bu prosesləri qeyd etmək olar:

- enerji ayrılması ilə gedən neytrallaşma

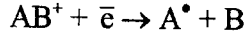


- enerji ayrılması və toplanması ilə gedən neytrallaşma

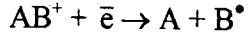


M – enerji akkumulyatorudur (toplayıcısıdır).

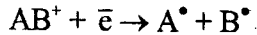
- atom və radikalların dissosiasiyası və əmələ gəlməsi ilə gedən neytrallaşma



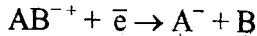
və ya



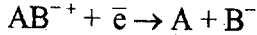
- radikalların dissosiasiyası və əmələ gəlməsi ilə gedən neytrallaşma



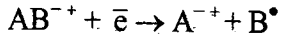
- ion və atom əmələ gəlməsi ilə dissosiasiya



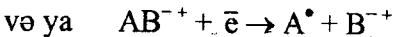
və ya



- ion və radikal əmələ gəlməsi ilə dissosiasiya



və ya

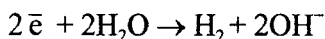


- yük ötürülməsi ilə gedən ion-molekulyar reaksiyalar

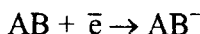
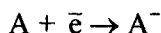


Neytrallaşma proseslərində **elektronun iştirakı** vacib deyil. Bundan başqa onların neytral atom və molekullarla qarşılıqlı təsiri ikinci dərəcəli mənfi ionların əmələ gəlməsinə səbəb olur:

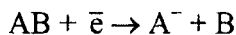
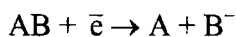
- elektronların suda dimerləşməsi



- atom və molekullara birbaşa birləşməsi

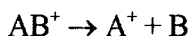


- molekullara dissosiativ birləşməsi



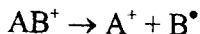
İlkin müsbət ionlar öz yüksək enerjisini neytrallaşma olmadan avtodissosiasiya proseslərində itirə bilirlər:

- ion və atomların əmələ gəlməsi





- ion və radikalların əmələ gəlməsi

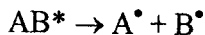


### **RKR-nın radikal mexanizmi**

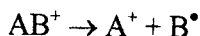
Şüalanma təsirindən yaranan aktiv hissəciklərdən biri də radikallardır. Cütləşməmiş elektronu olan hissəcik həm də yüklüdürsə, onu ion – radikal adlandırırlar.

**Radikalların əmələ gəlməsi** həm həyəcanlanma, həm də ionlaşma prosesində mümkündür, məsələn:

- həyəcanlanmış molekulların dissosiasiyası zamanı

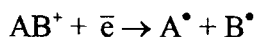


- ionların avtodissosiasiyası zamanı

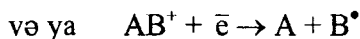
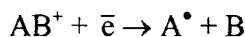




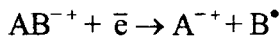
• radikalların dissosiasiyası ilə əmələ gələn neytrallaşma zamanı



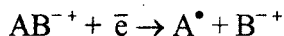
• radikalların və atomların dissosiasiyası ilə əmələ gələn neytrallaşma zamanı



• ion və radikalların əmələ gəlməsi ilə dissosiasiya

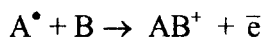


və ya

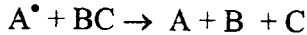


**Radikal iştirakı ilə gedən RKR, məsələn**

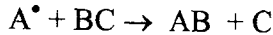
• atomlarla və ion əmələ gəlməsi ilə



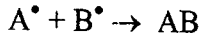
- molekullarla və onların dissosiasiyası ilə



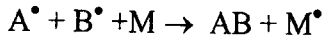
- molekullarla və onların dissosiasiyası və yeni molekullar əmələ gəlməsi ilə



- radikallarla və yeni molekul əmələ gəlməsi ilə



- radikallarla, yeni molekul və yeni radikal əmələ gəlməsi ilə



Göstərilən sxemlərdən görüldüyü kimi ion və radikal mexanizmlər bir-biri ilə əlaqəlidir və biri digərinin baş verməsinə səbəb olur. Məsələn, ion reaksiyası nəticəsində radikallar yaranır, yaxud da radikal təsirindən ionlar əmələ gəlir.

## V FƏSİL

### MAYELƏRDƏ RADİASİYA-KİMYƏVİ TƏSİR

**Mayenin aqreqat halının radiasiya-kimyəvi əlaqələ-  
rə təsiri**



*Şüalanmanın maddələrə təsiri şüalan-  
manın xarakterindən yox, şüalandırılan obyektin  
təbiətindən asılıdır.*

*RKR şüalandırılan maddənin aqreqat halından  
asılı olaraq həm ion, həm də radikal mexanizmi ilə gedə bilər.*

Şüalanmanın təsiri maddənin aqreqat halından o qədər asılıdır ki, mayelərdə, qazlarda və bərk maddələrdə radiasiya-kimyəvi proseslərin öyrənilməsinə ayrıca bir fəsil həsr olunmuşdur.

Mayələrə şüalanmanın təsirinin tədqiqi radiasiya kimyasında aktual istiqamətlərdən biridir. Əksər texnoloji proseslərin maye fazada getdiyi, bioloji orqanizmlərin maye faza olduğu bir halda, bu başqa cür ola da bilməz.

Məsələn, hüceyrələrin protoplazması maye məhluldur və insan özü də 65% sudan ibarətdir.

İonlaşdırıcı şüalanmanın mayelərə təsirinin xarakterik xüsusiyyətləri onun quruluş xassələrindən irəli gəlir. Mayələrin qazlara nisbətən yüksək sıxlığı onların molekulları arasında məsafənin kiçik və hissəcikləri arasında cazibənin yüksək olması ilə izah olunur. Bərk maddələrə nisbətən mayələrin quruluşu nizamsızdır. Digər tərəfdən, qazlarla müqayisə etdikdə görünür ki, mayələr lokal (yerli) nizama malikdir, məsələn suyun aqlomerasiyası.

Ona görə də mayələrdə ionların rekombinasiyası baş verdiyi üçün ionlaşmanı kəmiyyətcə qiymətləndirmək mümkün deyil. Həqiqətən də molekuldan şüalanma ilə qoparılmış ion elə o dəqiqə əks yüklü ionla neytrallaşır və nəticədə həyəcanlanmış molekul yaranır. Beləliklə, mayələrdə şüalanma enerjisi hətta ionlaşma səbəbindən yaranırsa da, həyəcanlanma enerjisinə keçir.

Şüalanmanın mayelərə təsiri mexanizmi üç effektlə müəyyənləşdirilir:

- Konsentrasiya (qatılıq) effekti göstərir ki, durulaşdırılmış məhlullarda radiasiya çevrilmələri həll olan maddənin qatılığından asılı deyil.

- Qoruyucu effekt əsas reaksiyanın çıxımının müəyyən bir maddənin reaksiyanı başqa istiqamətə yönəltməsinin təsi-



rindən azalması ilə bağlıdır.

- Faza effekti həll olan maddənin həllediciyə diffuziyasına səbəb olur, məhz buna görə də bərk maddələrdə radiasiya-kimyəvi reaksiyalar baş vermir.

Həll olan maddənin qatılığı həllediciyə nisbətən az olduğu üçün şüalanma ona bilavasitə təsir etmir. Sulu məhlullarda radiasiya-kimyəvi reaksiyanın mexanizmi maddənin suyun radioliz məhsulları ilə qarşılıqlı təsirini müəyyənləşdirir.

Duru məhlullarda bu  $\sim 10^{-7}$  san ərzində baş verir. Bu zaman radioliz məhsullarının qatılığı azalır və həll olan maddənin qatılığı ilə müqayisə oluna biləcək həddə çatır.

Qatı məhlullarda həll olan maddənin təsiri  $10^{-12}$  -  $10^{-13}$  san-dən qabaq baş verir. Beləliklə də, həll olan maddə təkcə son radioliz məhsulları ilə deyil, həmin vaxtda məhlulda olanlarla da qarşılıqlı təsirdə olur:

- suyun həyəcanlanmış molekulları ilə
- quru dəşiklərlə
- tam həyəcanlanmamış elektronlarla
- termoliz elektronları ilə

## SUYUN RADIOLIZİ

Suyun yüksəkenerjili şüalanması zamanı nələr baş verdiyini nəzərdən keçirək. Bu prosesi ilk öyrənilmiş radiasiya-kimyəvi reaksiya hesab etmək olar. 1913-cü ildə Şuan və Şoer şüalanma təsirindən suyun parçalandığını aşkar etdilər. Suyun şüalanma məhsullarında hidrogen, oksigen və az miqdarda hidrogen peroksidi olduğu müəyyən edildi.

Sonralar, 1927-ci ildə Frike suyun radiolizinin üç mərhələsini müəyyən etdi:

- fiziki
- fiziki-kimyəvi
- kimyəvi.

Hazırkı dövrdə bu reaksiya ən çox öyrənilmiş reaksiyadır. Onun mexanizmi müasir nöqtəyi-nəzərdən Platsman və Magi tərəfindən təklif olunmuş radikal diffuziya nəzəriyyəsinə görə şərh olunacaq.

Şüalanma təsirindən həyəcanlanmış suda əmələ gələn həyəcanlanmış molekul, ion və ion-radikalların su ilə və birbirləri ilə qarşılıqlı təsiri prosesi radioliz adlanır. Suda baş verən proseslər getmə vaxtından asılı olaraq üç mərhələyə bölünürlər.

## Radiolizin fiziki mərhələsi

Bu mərhələ şüalanmanın su molekullarına təsirindən baş verən elektron prosesləri ilə xarakterizə olunur və  $10^{-16}$  saniyədə baş verir. Əmələ gələn aktiv hissəciklər həyəcanlanmanın və ionlaşmanın miqراسiyası (köçməsi) proseslərində iştirak etməyə imkan verən enerjiyə malikdirlər.

Suyu ionlaşdıran enerjinin bir yarısı "sürüşkən" toqquşmalara, digəri isə birbaşa toqquşmaya sərf olunur. İkinci halda yaranan elektronlar yüksək enerjili olur və ikinci dərəcəli elektronlar adlanırlar  $\bar{e}_{iki}$ . Onlar özləri yeni ionlaşma mənbəyinə çevrilirlər ki, bu da onların belə adlanmalarını izah edir. İonlaşma proseslərində iştirak etmələri onların enerjisini azaldır.

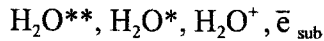
İlkin və ikinci dərəcəli şüalanmanın təsirindən tərkibində suyun radioliz məhsulları olan çox kiçik məhdud sahələr əmələ gəlir. Onlar müxtəlif formaya və uzunluğa malikdirlər, ona görə də suda şporlar, treklər (əsas və haçalanmış), kolonkalar və bloblar yaranır. Əgər qalan elektronların enerjisi su molekulunun həyəcanlanması üçün kifayət deyilsə  $E < 7,4$  eV, onda belə elektronlar tam həyəcanlanmamış elektronlar adlanırlar  $\bar{e}_{sub}$ .

Suda həyəcanlanma elektronlarından başqa 30 nm ölçülü 21,4 eV enerjili kollektiv həyəcanlanma sahələri –

plazmollar da mövcuddur. Onlar köçməyə qadir olan molekulyar su ionlarına çevrilə bilirlər, yəni "quru deşiklər" olurlar.

Yüksək həyəcanlanmış  $H_2O^{**}$ , həyəcanlanmış  $H_2O^*$ , molekulyar su ionları  $H_2O^+$  və tam həyəcanlanmamış elektronlar  $\bar{e}_{sub}$  suyun radiolizinin fiziki mərhələsinin məhsullarıdır.

Beləliklə radiolizin birinci mərhələsində:



əmələ gəlir.

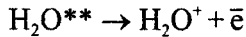
Mühitin ümumi energetikasına nisbətən, əmələ gələn məhsullar yüksək enerjiyə malikdirlər və deməli çox yaşaya bilmirlər və bu da radiolizin növbəti mərhələsində onların enerjisinin azalmasını müəyyənləşdirir. Verilmiş hissəciklərdə nə baş verdiyini nəzərdən keçirək

### **Fiziki-kimyəvi mərhələ**

Bu mərhələ  $10^{-14}$  san-dən başlayır və  $10^{-10}$  san-də qurtarır. Bu müddət ərzində radiolizin birinci mərhələsinin məhsulları ilə su molekulları arasında fiziki (suyun dielektrik relaksasiyası, molekul daxili həyəcanlanma) və kimyəvi proseslər baş verir.

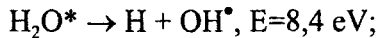
**$10^{-14}$  san ərzində** baş verən hadisələr:

- suyun hədsiz həyəcanlanmış molekulları öz yüksək enerjisi hesabına ionlara çevrilirlər:

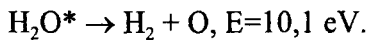


- suyun həyəcanlanmış molekulları radikal mexanizm üzrə daha aşağı enerjili səviyyəyə keçməklə parçalanırlar:

$\text{OH}^\bullet$  radikalı və hidrogen H atomu əmələ gətirməklə

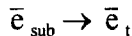


hidrogen molekulu  $\text{H}_2$  və oksigen atomu əmələ gətirməklə

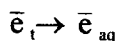


**$10^{-13}$  san ərzində** baş verən hadisələr:

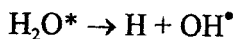
- tam həyəcanlanmamış elektronun termal elektrona çevrilməsi fiziki prosesi



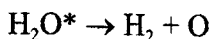
- termal elektronun  $\bar{e}_{\text{t}}$  hidratlaşmış elektrona  $\bar{e}_{\text{aq}}$  çevrilməsi



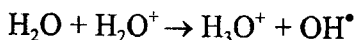
- radikal mexanizm üzrə  $\text{OH}^\bullet$  radikalı və hidrogen H atomu əmələ gətirməklə radioliz



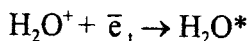
- oksigen atomunun əmələ gəlməsi



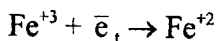
- ion mexanizmi üzrə  $\text{H}_2\text{O}^+$  ionunun hidratlaşmış protona  $\text{H}_3\text{O}^+$  ( $\text{H}^+_{aq}$ ) çevrilməsi ilə gədən radioliz



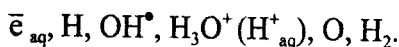
- $\text{H}_2\text{O}^+$  ionunun həyəcanlanmış  $\text{H}_2\text{O}^*$  molekuluna çevrilməsi



- $\bar{e}_t$  ilə qatı məhlullarda həll olan maddənin qarşılıqlı təsiri



Beləliklə, suyun radiolizinin fiziki-kimyəvi mərhələsinin məhsulları hidratlaşmış elektron  $\bar{e}_{aq}$ , hidrogen H atomu,  $\text{OH}^\bullet$  radikalı, hidratlaşmış proton  $\text{H}_3\text{O}^+$  ( $\text{H}^+_{aq}$ ), oksigen O atomu və hidrogen  $\text{H}_2$  molekuludur:



Bu məhsulların qeyri-homogen paylanması radiolizin kimyəvi mərhələsinin getməsinə səbəb olur. Həqiqətən də, bu mərhələnin sonunda suda istilik tarazlığı baş verir, lakin qatılıqlar haqqında belə demək olmaz. Radiolizin bu mərhələsinin məhsulları şüalanan suyun həcmi boyu bərabər paylanmır, məhdud zonalarda yığılır. Lakin burada da onlar homogen paylanmır. Əgər radiolizin atomar, molekulyar və ion məhsulları bu zonaların mərkəzində yerləşirsə, onda hidratlaşmış elektronlar onların ətrafında yerləşir.

Radiolizin fiziki mərhələsində əmələ gələn məhdud sahələrin forması və uzunluğu çox fərqlənir ki, bu da radiolizin kimyəvi mərhələsində gedən reaksiyaların mexanizmində müvafiq dəyişikliklər edir.

### **Radiolizin kimyəvi mərhələsi**

#### ***Həll olan maddənin qatılığının suyun radiolizinə təsiri***

Radiolizin kimyəvi mərhələsi özü də iki mərhələ ilə xarakterizə olunur. Birinci mərhələdə  $10^{-10}$  san-də radioliz məhsulları öz aralarında reaksiyaya girir ki, bu da radioliz

məhsullarının məhdud sahələrdə qatılığının məhluldakına nisbətən artıq olması ilə bağlıdır. İkinci mərhələdə  $10^{-7}$  san-də radioliz məhsullarının həll olan maddə ilə qarşılıqlı təsiri baş verir.

Durulaşdırılmış məhlullarda da müvafiq olaraq, radioliz məhsullarının həll olan maddə ilə qarşılıqlı təsiri  $10^{-7}$  san-də başlayır. Bu zaman radioliz məhsullarının qatılığı bir qədər azalır və həll olan maddənin qatılığı ilə müqayisə oluna bilən həddə çatır.

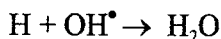
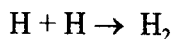
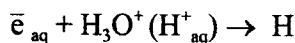
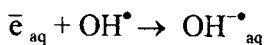
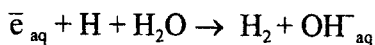
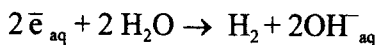
Qatı məhlullarda radioliz məhsullarının həll olan maddə ilə qarşılıqlı təsiri tez,  $10^{-12}$  -  $10^{-13}$  san-də başlayır. Bu halda həll olan maddə həmin anda məhluldakı həyəcanlanmış su molekulları,  $H_2O$  quru dəşikləri, tam həyəcanlanmamış elektronlar və termal elektronlarla da qarşılıqlı təsirdə olur.

Beləliklə, radiolizdə kimyəvi təsirin mexanizmi şüalandırılan sulu məhlulların qatılığından asılıdır.

### ***Suyun radiolizi prosesinə şüalanma intensivliyinin təsiri***

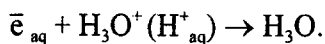
Aşağı şüalanma enerjisi ilə gedən radiolizi, başqa sözlə ilkin şpordaxili reaksiya adlandırmaq olar. Onlar üçün aşağıdakı reaksiyalar xarakterikdir:



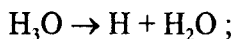


*Hidratlaşmış elektronun qarşılıqlı təsiri  
barədə ümumi bir fikir yoxdur.*

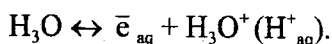
*Bəziləri hesab edirlər ki, hidratlaşmış  
elektron və proton qeyri sabit  $\text{H}_3\text{O}$  birləşməsi əmələ gətirir*



*Əmələ gələn  $\text{H}_3\text{O}$  hissəciyi ionlaşma yerindən diffuziya  
edərkən tez parçalanaraq ya hidrogen atomu əmələ gətirir*

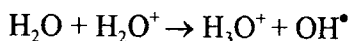


*ya da dönər reaksiya baş verir*



*Bu reaksiyanın dönərliyindən trek qarşılıqlı təsir məhsullarında bir qədər hidroksonium ionunun olması mümkündür.*

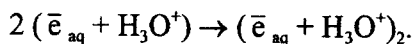
*Yada salsaq ki, hidroksonium ionunun  $\text{H}_3\text{O}^+$  əmələ gəlməsi  $\text{OH}^*$  radikalının yaranmasına səbəb olur, onda onların treklərin yaxınlığında olması izah edilə bilər*



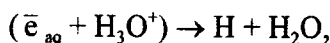
*Bu məhsulların birgə yerləşməsi onların şporlarda yüksək qatılıqlarına, bunun nəticəsində də onların bir-birilə qarşılıqlı təsirinə səbəb olur, Beləliklə onlar bir-birilə qarşılıqlı təsirdə olurlar. Hidratlaşmış elektronun iştirakı onun yüngül diffuziyasına görə təyin olunmur.*

*Digərləri hesab edirlər ki, hidratlaşmış elektronla protonun qarşılıqlı təsiri hər iki ionun qatılığının yüksək olduğu şporlarda sabit birləşmənin ( $\text{H}_3\text{O} \dots \bar{\text{e}}_{\text{aq}}$ ) əmələ gəlməsinə səbəb olur.*

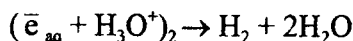
*Bu birləşmədə hidratlaşmış ion bir neçə su molekulunda yerləşir, buna görə də onun üçün dimer əmələ gətirməklə gedən rekombinasiya reaksiyası xarakterikdir*



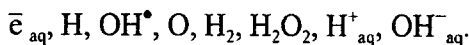
*Təbii ki, monomerin parçalanmasından hidrogen atomu əmələ gəlir*



*dimerin parçalanmasından isə hidrogen molekulu əmələ gəlir*



Kimyəvi reaksiyanın sonuna yaxın aşağı enerjili şüalanma zamanı şporlarda radioliz məhsulları kimi hidratlaşmış elektron, hidrogen atomu, hidroksid radikalı, oksigen atomu, hidrogen molekulu, hidrogen peroksid molekulu, hidratlaşmış hidrogen kationu, hidratlaşmış hidroksid anionu alınır



Bu zaman nəzərə alsaq ki, atomar oksigenin çıxımı çox azdır, o zaman

$\text{H}, \text{OH}^\bullet$  – sərbəst radikallar;

$H_2$ ,  $H_2O_2$  – molekulyar məhsullar;

$\bar{e}_{aq}$ ,  $H^+_{aq}$ ,  $OH^-_{aq}$  – hidratlaşmış ionlardır.

### **Yüksək enerjili şüalanmada radioliz**

Bu zaman şporlar sərbəst radikalların qatılığının çox olduğu kolonkolarda birləşir. Bunun da nəticəsində radioliz məhsullarında reaksiyanın molekulyar məhsullarının qatılığı artır, sərbəst radikalların miqdarı isə azalır.

Şüalanma enerjisinin artması ilə gedən radioliz proseslərinin birinci xüsusiyyəti ikinci xüsusiyyətin yaranmasına – sərbəst radikalların reaksiyanın molekulyar məhsulları ilə qarşılıqlı təsirinə səbəb olur.

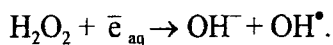
Bu reaksiyalar nəticəsində radioliz prosesinə əks olan proseslər yaranır. Bu da son nəticədə suyun parçalanması və sintezi proseslərində sabit tarazlığa səbəb olur. Bu vəziyyət yaranıqda radioliz məhsullarının qatılığı artıq dəyişmir və şüalanma müddətindən asılı olmur.

Sabit tarazlığın pozulmasına temperaturun dəyişməsi, şüalanmanın keyfiyyəti və aşqarların olması təsir edə bilər. So-

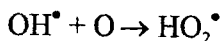
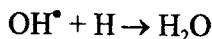
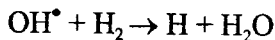
nuncu asılılıqdan radiasiya texnologiyasında partlayış təhlükəli radioliz məhsullarının – hidrogen peroksidi və oksigenin qatılığının azaldılması üçün istifadə edirlər. Bunun üçün atom reaktorlarında istifadə olunan suyu əvvəlcə hidrogenləşdirirlər ki, bu da sabit tarazlığı pozur, reaksiya məhsullarında oksigenin və hidrogen peroksidin miqdarını azaldır.

Reaksiya məhsullarının qatılığı radiolizin qaz və maye məhsullarının nisbətindən asılıdır. Qaz maddələrin sabit qatılıq nisbətinə yalnız prosesin temperaturunun dəyişməsi ilə nəzarət olunur. Radiolizdə əmələ gələn qazların kənarlaşdırılması tarazlığı pozur və "guruldayıcı" qarışığın alınmasına maneçilik törədir. Məhz bu səbəbdən də radiolitik qazların tərkibinə nəzarət çox vacibdir.

Əks qarşılıqlı təsir nəticəsində radiolizin ilkin sabit məhsulları parçalanır və ikinci dərəcəli radikallar əmələ gəlir

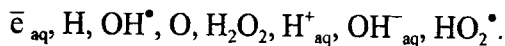


$\text{OH}^\bullet$  radikalının reaksiyanın molekulyar və atomar məhsulları ilə qarşılıqlı təsirini nəzərdən keçirək:



*Təcrübi olaraq sübut edilmişdir ki,  $\text{HO}_2^\bullet$  radikalı üçün məsuliyyəti məhz bu reaksiya daşıyır, əvvəllər qeyd olunan  $\text{OH}^\bullet + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{H}_2\text{O}$  reaksiyası yox.*

Şüalanma enerjisinin yüksək olduğu zaman radioliz məhsullarının çıxımı keyfiyyətə belə olacaq: hidratlaşmış elektron, hidrogen atomu, hidroksid radikalı, oksigen atomu, hidrogen peroksid molekulu, hidratlaşmış hidrogen kationu, hidratlaşmış hidroksid anionu və yeni radikal



## HİDRATLAŞMIŞ ELEKTRON



*Alınma üsulundan asılı olmayaraq elektronun hidratlaşmasını dəqiq təsəvvür etmək lazımdır.*

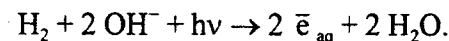
*Bu elektronun suda həll olarkən enerjisinin vakuum enerjisinə nisbətən 1,6 eV az olması ilə bağlıdır.*

Hidratlaşmış elektronun alınması yalnız radiasiya-kimyəvi reaksiya nəticəsində baş vermir. Lakin onun kəşfi və sonrakı tədqiqatı üçün məhz radiasiya kimyasının meydana çıxmasına borcluyuq.

Hidratlaşmış elektron suyun şüalanması zamanı əmələ gələn başlıca bərpəedici (reduksiyaedici) hissəcikdir.

Təbiətdə çox geniş yayılmış hidratlaşmış elektronun yalnız XX əsrin ikinci yarısında kəşf edilməsi elmi cəhətdən inanılmaz bir faktdır. Özü də Yer səthinin 4/5 hissəsinin su ilə örtüldüyü və cürbəcür şüalanmaların təsirindən bu suda hidratlaşmış elektronların əmələ gəldiyi bir vaxtda. Məsələn, dünya okeanında fotoionlaşma nəticəsində onun miqdarı  $10^{-17}$  M-dir.

Təbiətdə hidratlaşmış elektronun mövcudluğuna digər bir misal onun fotosintezdə iştirakıdır. Hidratlaşmış ionun miqdarının parlaq günəş işığında hidrogenlə doymuş qələvi mühitdə yüksək olduğunu gözləmək olar. Bu reaksiya belə şəkildədir:



### *Hidratlaşmış elektronun alınmasının kimyəvi üsulları*

#### *Gərginlik sırasında 2,7 v-dan solda yerləşən metalların suda həll olması*

Bunun əsas səbəbi hidratlaşmış elektronun oksidləşdirici-reduksiyaedici potensialının 2,7 v olmasıdır. Gərginlik sırasında o, natrium və lantanın arasında yerləşir.



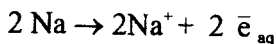
*Hidratlaşmış elektron ən güclü reduksiyaediciyəndir!*

Hidratlaşmış elektronun kəşfi kimyəvi reaksiyaların əvvəllər qəbul edilmiş mexanizmini yenidən şərh etməyə imkan verdi.

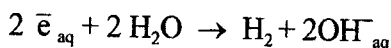


Məsələn natrium amalqamasının suda həll olması zamanı reaksiya iki mərhələdə gedir:

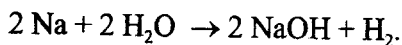
- hidratlaşmış elektronun əmələ gəlməsi



- onun su ilə qarşılıqlı təsiri



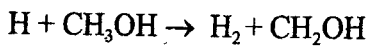
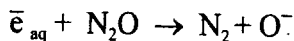
Bu iki tənliyin cəmi aşağıdakı reaksiyanı göstərir



Hidratlaşmış elektronun kəşfinə qədər natriumla suyun reaksiyasını məhz belə təsəvvür edirdilər.

Bu reaksiyanın mexanizmi rəqabətdə olan akseptorlar üsulunun köməyi ilə müəyyən olunmuşdur.

Bu üsul  $\bar{e}_{\text{aq}}$  və hidrogen üçün xarakterik olan reaksiyaların getməsinin mümkünlüyünün müqayisəsinə əsaslanır

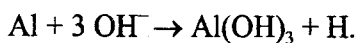


Təcrübi yolla müəyyən olunmuşdur ki, tərkibində azot-1-oksüd və metil spirti  $\text{CH}_3\text{OH}$  olan məhlulda natrium əlavə etdikdə hidrogen yox, azot ayrılır.

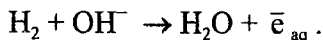
***Güclü qələvi məhlullarda metalların həll olması***



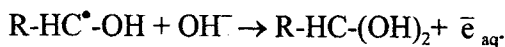
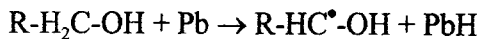
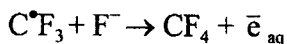
Bu reaksiyanı əvvəlki şərhə ilə müqayisə edək



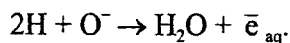
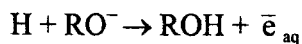
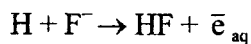
Artıq yuxarıda qeyd olunanlardan aydın olur ki, əgər alüminiumun qələvidə həll olması nəticəsində hidrogen atomu alınsaydı belə, o mütləq hidratlaşmış elektrona çevrilərdi:



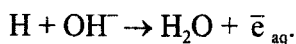
***Elektronlara az oxşarlığı olan radikalların anionlarla stabilizə edilməsi***



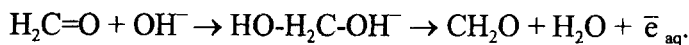
Elektron artıqlığı olan birləşmələrin hidrogenləşməsi



Qeyd etdiyimiz kimi bu proses qələvi məhlullarda daha yaxşı gedir:

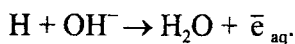
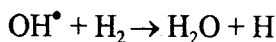
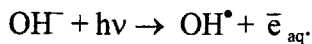


### *Aldehidlərin qələvili dehidratasiyası*

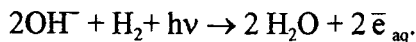


### *Fotolizdə qələvi məhlulların hidrogenləşdirilməsi*

$\bar{e}_{\text{aq}}$  üçün ideal mənbədir:

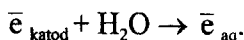


Bu üç reaksiyanı cəmləşdirsək, proses belə olar:

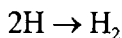
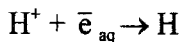


### ***Hidratlaşmış elektronun elektrokimyəvi alınma üsulu***

Suyun elektrolizi zamanı katoda aralıq məhsul kimi hidrogenin yox,  $\bar{e}_{\text{aq}}$ -nin alınması rəqabətdə olan akseptorlar üsulu ilə təsdiq olunmuşdur



Beləliklə, suyun elektrolizi zamanı alınan molekulyar hidrogen əvvəllər geniş yayılmış ədəbiyyatda göstərilən sxem üzrə yox, qabaqcadan hidratlaşmış elektron yaradılması ilə əmələ gəlir.



### ***Hidratlaşmış elektronun kimyəvi xassələri***

Hidratlaşmış elektron – çox yüksək enerjili mənfi yüklü hissəcikdir. Bu iki xarakterik xüsusiyyət onun kimyəvi xassəsini aydınlaşdırır.

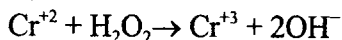
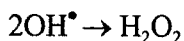
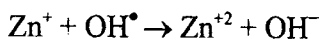
Mənfi yük daşıyan hissəcik kimi o, reduksiyaedici və aşağıda göstərilən oksidləşmə-reduksiya proseslərində iştirak edir:

|                                                                                                                                   |                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{e}_{\text{aq}} + A(B) \rightarrow A^- (B^-)$                                                                                | $\bar{e}_{\text{aq}} + H \rightarrow H^-$                                                                  |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + AB \rightarrow A + B^-$<br>və ya<br>$\bar{e}_{\text{aq}} + AB \rightarrow A^- + B$                         | $\bar{e}_{\text{aq}} + H_2S \rightarrow H + HS^-$<br>$\bar{e}_{\text{aq}} + H_3N \rightarrow H^- + N$      |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + A^{n+} \rightarrow A^{+(n-1)}$                                                                             | $\bar{e}_{\text{aq}} + Cu^{+2} \rightarrow Cu^{+1}$                                                        |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + B^{-n} \rightarrow B^{-(n+1)}$                                                                             | $\bar{e}_{\text{aq}} + S^{-} \rightarrow S^{-2}$                                                           |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + AB^{+n} \rightarrow AB^{+(n-1)}$                                                                           | $\bar{e}_{\text{aq}} + TiO^{+2} \rightarrow Ti^{+}$                                                        |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + AB^{+n} \rightarrow A^{+(n-1)} + B$<br>və ya<br>$\bar{e}_{\text{aq}} + AB^{+n} \rightarrow A + B^{+(n-1)}$ | $\bar{e}_{\text{aq}} + VO^{+3} \rightarrow V^{+2} + O$<br>$\bar{e}_{\text{aq}} + NO^{+} \rightarrow N + O$ |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + AB^{-n} \rightarrow A^{-(n+1)}$                                                                            | $\bar{e}_{\text{aq}} + PO_4^{-} \rightarrow PO_4^{-2}$                                                     |
| $\bar{e}_{\text{aq}} + AB^{-n} \rightarrow A^{-n} + B^{-}$<br>və ya<br>$\bar{e}_{\text{aq}} + AB^{-n} \rightarrow A^{-} + B^{-n}$ | $\bar{e}_{\text{aq}} + ClO^{-} \rightarrow Cl^{-} + O^{-}$<br>$SO_4^{-2} \rightarrow S^{-} + O^{-2}$       |

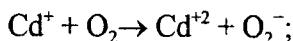
Bu qarşılıqlı təsirlər adi ion qarşılıqlı təsirindən fərqlənir. Hidratlaşmış elektronun yüksək energetik imkanları qeyri-standart həyəcanlaşmış ion, kompleks və birləşmələrin yaranmasına səbəb olur. Təbiidir ki, sonuncular enerji artıqlığından azad olmaqla normal hala keçməyə çalışacaqlar.

Bu prosesdə oksidləşdirici kimi aşağıdakı məhsullar götürülə bilər:

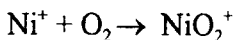
- suyun radiolizində alınan məhsullar  $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$



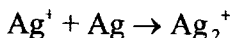
- havanın oksigeni, bu halda həyəcanlanmış ion ya elektronunu oksigenə verərək  $\text{O}_2^-$ -əmələ gətirir



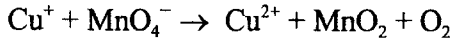
ya da aralıq birləşmə əmələ gətirir



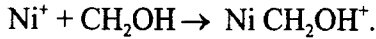
- əvvəllər reduksiya olunmayan kationlar:



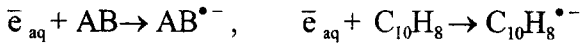
- istənilən qeyri-üzvi oksidləşdiricilər



- sərbəst üzvi radikallar



Hidratlaşmış elektron yalnız mənfi yüklü hissəcik deyil, o hər şeydən əvvəl böyük enerji daşıyan hissəcikdir, ona görə də birləşmə reaksiyasına girərək adi anion yox, anion radikal əmələ gətirir:



Sonrakı reaksiyalarında anion radikallar hidratlaşmış ionu fərqləndirən xüsusiyyətləri – enerji və yükü:

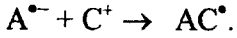
- ya cəm halında
- ya da təklikdə ötürürlər

Anion radikalların qarşılıqlı təsir mexanizmi

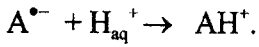
| Yeni anion radikalların emələ gəlməsi           | Anion radikalların qarşılıqlı təsiri        | Anion və radikalların emələ gəlməsi               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| $AC^{\bullet-}$                                 | $\leftarrow A^{\bullet-} + C \rightarrow$   | $A^- + C^{\bullet}$                               |
| $A + CD^{\bullet-}$                             |                                             | $A^- + CD^{\bullet}$ və ya $A^{\bullet} + CD^-$   |
| $C + AD^{\bullet-}$ və ya $C^{\bullet-} + AD$   | $\leftarrow A^{\bullet-} + CD \rightarrow$  | $C^- + AD^{\bullet}$ və ya $C^{\bullet} + AD^-$   |
| $D + AC^{\bullet-}$ və ya $D^{\bullet-} + AC$   |                                             | $D^- + AC^{\bullet}$ və ya $D^{\bullet} + AC^-$   |
| $AB + CD^{\bullet-}$                            |                                             | $AB^- + CD^{\bullet}$                             |
| $AC + BD^{\bullet-}$ və ya $AC^{\bullet-} + BD$ | $\leftarrow AB^{\bullet-} + CD \rightarrow$ | $AC^- + BD^{\bullet}$ və ya $AC^{\bullet} + BD^-$ |
| $AD + BC^{\bullet-}$ və ya $AD^{\bullet-} + BC$ |                                             | $AD^- + BC^{\bullet}$ və ya $AD^{\bullet} + BC^-$ |



Anion radikal kationlarla təsirdə olursa anionun neytrallaşması baş verir və o radikala çevrilir



Bu, anion radikala hidratlaşmış  $H_{aq}^+$  birləşməsi reaksiyası üçün çox xarakterikdir:



## VI FƏSİL

### QAZLARDA RADİASIYA-KİMYƏVİ TƏSİR

**Qazların aqreqat halının radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri**

Qazlarda radiasiya-kimyəvi təsir (RKT) həcmdə baş verdiyinə görə, qazlarda radiasiya-kimyəvi reaksiyaların getməsi üçün təzyiq dəyişməsinin böyük əhəmiyyəti vardır.

#### **Yüksək təzyiqlərdə qazların radiolizi**

Proses mayelərin radiolizini xatırladır. Mayelərdə olduğu kimi burada da qarşılıqlı təsir əvvəlcə treklərdə radioliz məhsulları arasında, sonra isə həcmdə radioliz məhsulları ilə həll olan maddə arasında baş verir. Əgər trekdə həll olan maddə varsa, onda əvvəlcə onun həyəcanlanması baş verir, sonra o elektron verməklə ilkin sabit vəziyyətə qaydır.

#### **Seyrək qazlarda radioliz**

Seyrək qazlarda RKR-nın qazlarda getməsinin keyfiyyət xüsusiyyətləri meydana çıxır:

- mayelərin və bərk maddələrin treklərindəki nisbətən qazlarda qarşılıqlı təsir məhsullarının homogen paylanması;

- RKR-nın çıxımına enerjinin xətti ötürülməsinin çox kiçik təsiri;

- ionlaşma şüalanma növündən çox az asılıdır. Elektrik yükü, qısdalğalı və elektromaqnit şüalanması yüksəkenerjili şüalanma kimi təsir göstərir.

- seyrek qazlar üçün ionların rekombinasiyası prosesi xarakterik deyil. Qazların sıxlığı çox kiçikdir, bu səbəbdən də qazlarda gedən radioliz prosesləri mayələrdə və bərk maddələrdə gedən radioliz proseslərindən keyfiyyətcə fərqlənir. Qazların kiçik sıxlığı onlarda aktiv hissəciklərin dezaktivasiyası və ionların rekombinasiyası prosesləri üstünlük təşkil etməsinə üstünlük vermir. Ona görə də qazlar üçün həm radikal, həm də ion mexanizmlə monomolekulyar reaksiyalar xarakterikdir. Təzyiq art-

dıqca qazlarda, mayelərdə gedən radiasiya-kimyəvi reaksiyalar üçün xarakterik olan ion-molekulyar reaksiyaların payı artır.

Qazlarda şüalanma zamanı bir ion cütünün əmələ gəlməsi üçün 34 eV tələb olunur ki, bu da ionlaşma potensialı enerjisindən qat-qat artıqdır. Hətta He üçün də belə bu enerji 24,6 eV-dur.

Qazlarda ion cütünün yaranması üçün olan enerjinin təkcə üçdə bir hissəsi kimyəvi birləşmələrdə dərin quruluş dəyişikliklərinin baş verməsinə kifayət edir. məsələn, benzolun 70 eV şüalanmasından 44 ion alınmışdı. İonlaşma karbohidrogen skeletindən keçərək sərbəst karbon atomları əmələ gətirməklə qazların tam deqradasiyasına (dəyişməsinə) səbəb olur.

Dağılmanın gedişini ehtimal etmək olar, lakin qabaqcadan xəbər vermək olmaz. Ona görə də radiasiya-kimyəvi reaksiyaların mexanizmini nəzərdən keçirəndə, reaksiyalardan əsasən yalnız ən xarakterik olanını götürürlər. Hələ heç bir reaksiya onun tam energetik xarakteristikası verilə biləcək dərəcədə öyrənilməmişdir.

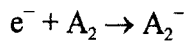
## **Qazların təbiətinin radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri**

Qazların radiolizində qaz molekulunun təbiəti böyük əhəmiyyət kəsb edir.

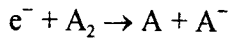
### **Qazların radiolizinin yüksüz məhsulları -**

elektron birləşdirməklə yüklü hissəciklərə çevrilirlər:

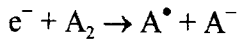
- mənfi yüklənmiş molekulyar ion



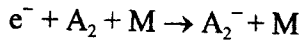
- mənfi yüklənmiş ion və atom (elektronun aşağı enerjisində)



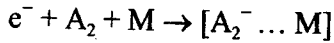
- mənfi yüklənmiş ion və radikal (elektronun yüksək enerjisində)



- mənfi yüklənmiş molekulyar ion (qazın aşağı təzyiqlərində), özünə elektron enerjisini qəbul edən molekul M iştirakında



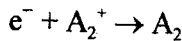
• mənfi yüklənmiş kompleks (qazın yüksək təzyiqlərdə), özünə elektron enerjisini qəbul edən molekul M iştirakında



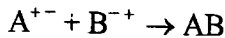
### Qazların radiolizinin yüklü məhsulları –

yüklü hissəciklərin qarşılıqlı təsirinə səbəb olur və qazların rekombinasiyası prosesinə aparır:

• elektronların



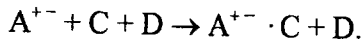
• ionların



Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, əgər  $A^{+}$  sabit iondursa

( $H_3O^{+}$ ,  $NH_4^{+}$ ,  $OH^{-}$ ,  $Cl^{-}$ ), onda paralel olaraq klaster  $A^{+} \cdot C$

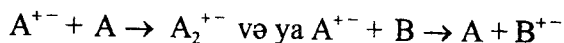
əmələ gəlməsi baş verir, D – klasterin stabilizatorudur



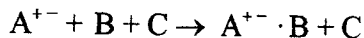
Klasterlərin əmələ gəlməsi rekombinasiya prosesi üçün əlverişlidir, çünki neytrallaşma zamanı əmələ gələn enerjiden istifadə olunur.

**Sadə ionlarla atomların qarşılıqlı təsirini** iki növə ayırmaq olar:

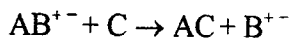
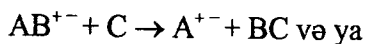
- yük ötürülür



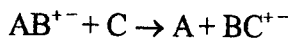
- yük ötürülmür və klaster yaranır



**Mürəkkəb ionlarla atomların qarşılıqlı təsiri** bu ionların dissosiasiyası ilə, yaxud da yeni atoma



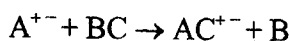
yeni molekula



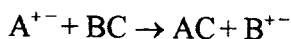
yük ötürülməsi ilə xarakterizə olunur.

**Sadə ionlarla molekulların qarşılıqlı təsiri** səbəb olur:

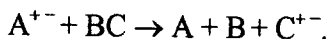
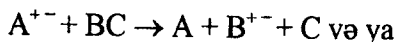
• ilkin molekulun dissosiasiyası və onun atomlarının yeni əmələ gələn molekulda yük ötürməklə yenidən qruplaşması və neytral atom əmələ gətirməsi



• ilkin molekulun dissosiasiyası və onun atomlarının yeni molekul əmələ gətirməklə yenidən qruplaşması və yükü yeni yaranan atoma ötürməsi



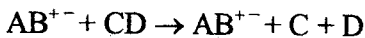
• ilkin molekulun yük ötürməklə sadə atomlar yaranması ilə tam dissosiasiyası



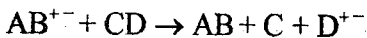
**Müərkəkəb ionlarla molekulların qarşılıqlı təsiri**

• molekulların dissosiasiyasına

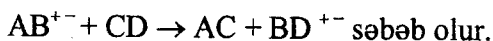




• molekulların dissosiyasiyasına və bir atomdan yeni ionun əmələ gəlməsinə



• molekulların dissosiyasiyası ilə yenidən qruplaşma və yeni mürəkkəb ion əmələ gəlməsinə



Yuxarıda göstərilən imkanlardan başqa, sadə və mürəkkəb anionların qarşılıqlı təsiri elektron qoparılması reaksiyaları ilə də xarakterizə olunur.

### **Azot və oksigen qarışığının radiolizi**

İnsanı əhatə edən havada gedən dəyişikliklər onun üçün çox əhəmiyyətlidir. Hava əsasən azot və oksigen qarışığından, eləcə də su buxarları və karbon qazından ibarətdir. Azotun oksidləşməsi problemini həll etmək çox çətindir, çünki azot molekulu yüksək əlaqə enerjisinə malikdir.

Ona görə də əlaqəli azotun problemini kimyaçılar do-  
layı yolla – havadan ammonyak almaqla həll edirdilər.


Lakin təbiət özü vəziyyətdən çıxış yolunu göstərdi, axı  
Yer atmosferində azot oksidləri günəş və kosmos şüalanması-  
nın təsirindən alınır. Deməli, əlaqəli azot problemi radioaktiv  
şüalanma enerjisindən istifadə edilərsə sənayedə asan həll  
oluna bilər.

Hələlik bu üsul kimyəvi üsuldən geri qalır, çünki həll  
olunmamış texnoloji problemlər mövcuddur. Bununla belə gə-  
ləcək azotun radiolizinə məxsusdur, çünki nitrat ehtiyatları –  
dünya, siyasi və sosial münaqişələrin hər zamankı mənbəyi –  
məhduddur.

İonlaşdırıcı şüalanmanın ( $\sim\sim\sim\blacktriangleright$ ) təsirindən bu iki qazın  
qarışığı üzərində əvvəlcə ion cütü yaranır:



Bu prosesə müvafiq azot və oksigen ionlarının əmələ gəlməsinə müvafiq enerji potensialı cəhətdən lazım olandan (~ 30 eV) çox enerji sərf olunur.



*İkinci ion cütünü yaratmağa kifayət etməyən, yəni 30 eV-dan az olan artıq enerji hara gedir?*

Bu artıq enerji həm qazın ionlaşma məhsullarının – ion və elektronların həyəcanlanmasına

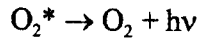
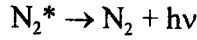


həm də ionlaşmamış azot və oksigen molekullarının həyəcanlanmasına sərf olunur.

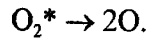
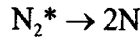


Həyəcanlanmış molekul sabit vəziyyətə keçir:

• ya artıq enerjisini verməklə, məsələn, flüoressensiya prosesində

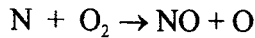
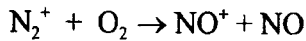


• ya da bu enerjini molekulun atomlara dissosiasiya etməsinə sərf etməklə

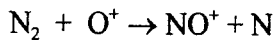


Birinci prosesi nəzərə almamaq olar, çünki o  $10^{-9}$ - $10^{-8}$  sənədə gedir, atomların əmələ gəlməsi isə  $10^{-13}$  sən-dən başlayır.

Azotun əsas oksidləşməsinə bu reaksiyaları aid edirlər



burada N atomu  $\text{N}_2^+ \rightarrow \text{N}^+ + \text{N}$  reaksiyası üzrə alınır;

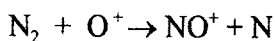
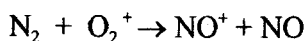


burada O atomu  $\text{O}_2^+ \rightarrow \text{O}^+ + \text{O}$  reaksiyası üzrə alınır.

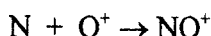
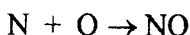
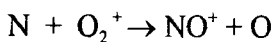
Bu reaksiyalar digərlerinden aktiv hissəciklərin – azot və oksigenin həyəcanlanmış ionlarının qarşılıqlı təsirini, azot atomlarının böyük reaksiya qabiliyyətini və atmosferdə azot və oksigenin nisbi miqdarını nəzərə almaqları ilə fərqlənirlər.

Bununla yanaşı digər reaksiyalar da baş verir:

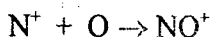
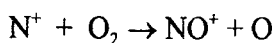
- azot molekulları ilə



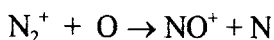
- azot atomları ilə



- atomar azot ionları ilə



- molekulyar azot ionları ilə



Azotun radiolitik oksidləşməsinin məhsulu azot oksidi (+2)

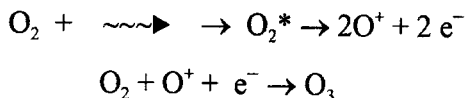
– oksidləşmiş azotun ən sabit formasıdır.

## Ozon molekulumun əmələ gəlməsi

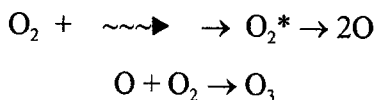
Qazlarda radiasiya-kimyəvi reaksiyalar üçün ilkin ionlaşmadan başqa, molekulların həyəcanlanması ilə bağlı olan reaksiyalar da əhəmiyyət kəsb edir. Belə reaksiyalara ozon molekulumun əmələ gəlməsi reaksiyasını aid etmək olar.

Reaksiya üçün iki mexanizm mümkündür:

Birinci mexanizmə görə şüalanma zamanı alınan həyəcanlanmış molekul ionlara parçalanır. Oksigenin dissosiasiyası reaksiyası və  $O^+$  yaranması 19,5 eV şüalanmada gedir və iki molekul ozon əmələ gəlir



İkinci mexanizm üzrə 6,3 eV enerji ilə gedən oksigenin həyəcanlanma reaksiyası beş molekul ozon əmələ gəlməsinə səbəb olur



Qazların alınmasının radiasiya texnologiyasının sxemini işləyərəkən gedən proseslərin çoxluğu ucbatından əsas reaksiyanın seçiciliyinə nail olmaq çox çətindir.

Qazların həyəcanlanması nəticəsində böyük enerji tutumlu aktiv hissəciklər – elektronlar, atomlar, molekullar, ionlar və radikallar əmələ gəlir. Bu hissəciklərin enerjisi ya kənarlaşdırılır, ya da onların sonrakı qarşılıqlı təsirinə sərf olunur, əksər hallarda isə hər ikisi olur. Məsələn, oksigen atom və molekulundan ozon alınarkən radikalların bir-biri ilə, atomlarla və molekullarla qarşılıqlı təsirindən istifadə edirlər.

Artıq şüalanma enerjisini kənarlaşdırmaq üçün köməkçi molekullardan istifadə edirlər. Bu proses ozon üçün belə olacaq



Köməkçi molekullar M şüalanma enerjisinin artığını toplayaraq alınan məhsulların dissosiasiyası reaksiyasını istisna edirlər və bununla da reaksiyanı lazımi istiqamətə yönəltməyə imkan yaradırlar.

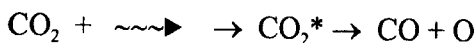
## Karbon qazının radiolizi

Karbon qazı – insanın texnoloji fəaliyyətinin məhsuludur. O, ilbəl Yer atmosferində toplanır. Ona görə də onun radiolizinin tədqiqi ekoloji nöqtəyi-nəzərdən və digər səbəblərdən çox vacibdir.

Atom sənayesində ondan istilikdaşıyıcı kimi istifadə ediləyi üçün, şüalanma təsirindən baş verən proseslərin tədqiqi texnoloji məsələlərlə əlaqədardır.

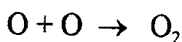
Şüalanma təsirindən karbon qazında ionlaşma və həyəcanlanma prosesləri getməyə başlayır.

Həyəcanlanma zamanı yalnız oksigen atomu və dəm qazı molekulu əmələ gəlir

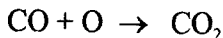


Atomar oksigen qeyri-sabit olduğuna görə, o, daha sabit vəziyyətə keçərkən

- oksigen molekulları



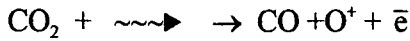
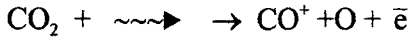
- karbon qazı molekulları





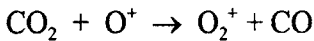
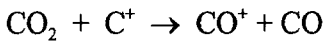
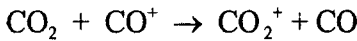
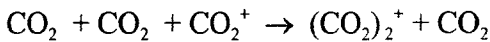
əmələ gətirir.

İlkin ionlaşma zamanı bu reaksiyalar mümkündür:



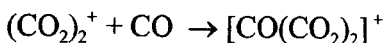
Bu prosesin məhsulları müsbət  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{CO}^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{C}^+$  ionları, elektronlar  $\bar{e}$ , O atomları, CO molekullarıdır.

Karbon qazı molekullarının ilkin ionlarla sonrakı reaksiyaları dəm qazı və karbon qazından başqa ikinci dərəcəli ionların alınmasına səbəb olur.

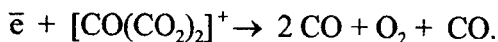
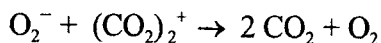
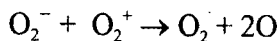
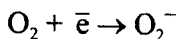


İkinci dərəcəli ionların bir hissəsi  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{CO}^+$  ilkin ionlar kimi eyni formulludur, digərləri  $(\text{CO}_2)_2^+$ ,  $\text{O}_2^+$  isə fərqlənirlər.

$(\text{CO}_2)_2^+$  ionu klaster birləşmədir,  $\text{CO}_2$ -dən fərqli olaraq CO ilə reaksiyaya girir



Radioliz məhsulları arasında qarşılıqlı təsir



Beləliklə, atom texnologiyasında karbon qazının istilikdaşıyıcı kimi istifadəsi onun radioliz məhsullarının dönər çevrilmələri ilə bağlıdır.

#### **Azot oksidinin (+4) radiolizi**

Hazırkı dövrdə perspektiv istilikdaşıyıcı kimi azot oksidi (+4) nəzərdə tutulur. Atom sənayesində onun işlədilməsinin mümkünlüyünü nəzərdən keçirək.

+4 oksidləşmə dərəcəsi üçün iki oksid – qırmızı-qonur monomer  $\text{NO}_2$  və rəngsiz dimer  $\text{N}_2\text{O}_4$  mövcuddur.

Azot monomerinin kimyəvi aktivliyi və paramaqnetizmi

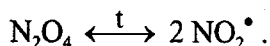
onun cütleşmiş elektronunun olmaması ilə bağlıdır. Elektron artıqlığı olan bu molekul üçün elektron qopması və müsbət yüklənmiş nitronium ionunun  $\text{NO}_2^+$  əmələ gəlməsi reaksiyaları da xarakterikdir.

Diamaqnit dimer az aktivdir, qazlarda və maye halında qismən dissosiasiyaya uğrayır. Dimer üçün molekulun üç fəza izomerliyi mümkündür:

- yastı simmetrik  $\text{O}_2\text{NNO}_2$ ;
- yastı olmayan simmetrik  $\text{O}_2\text{NNO}_2$ ;
- qeyri-simmetrik  $\text{ONONO}_2$ .

Birinci iki növün dissosiasiyasından monomer, qeyri-simmetrik növün dissosiasiyasından  $\text{NO}^\bullet$  və  $\text{NO}_3^\bullet$  alınır. Sonuncu parçalanma mayədə gedən prosesləri xarakterizə edir.

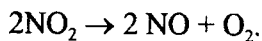
Azot monomeri ilə dimeri (+4) arasında tarazlıq mövcuddur



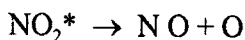
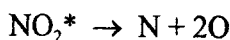
Bu prosesin getmə istiqaməti temperaturdan asılıdır.  $140^\circ\text{C}$ -dən yuxarı temperaturlarda azot dimeri tamamilə monomərə çevrilir. Deməli, azot oksidinin (+4) istilikdaşıyıcı kimi

tətbiqinin mümkünlüyünü tədqiq edərkən hesab edəcəyik ki, reaktorun aktiv zonasında azot monomeri yerləşir.

Onun radioliz mexanizminə baxaq. Şüalanmanın təsirindən azot monomeri (+4) azot oksidinə (+2) keçir



Həyəcanlanma mexanizmini aşağıdakı ilkin proseslər göstərir

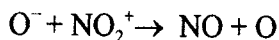
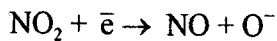
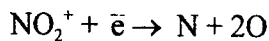
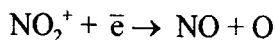


Azot oksidinin (+4) radiolizinin ion mexanizmi aşağıdakı reaksiyaları nəzərdə tutur

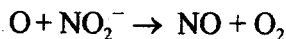
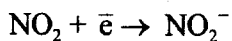
İkin ionlaşma



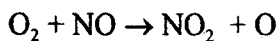
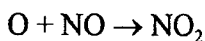
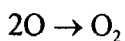
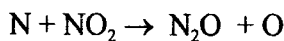
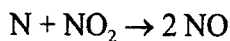
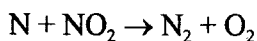
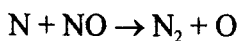
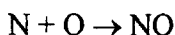
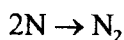
İonların rekombinasiyası



İonların radiolizin başlangıç və son məhsulları ilə qarşılıqlı təsiri



Atomar və molekulyar məhsulların qarşılıqlı təsiri onların alınma mexanizmindən asılı olmayaraq eyni ilə baş verir



Azot (+4) oksidinin radioliz məhsulu azot molekulu və oksigen, azot (+2) oksidi və azot (+1) oksidi olacaqdır.

## VII FƏSİL

### BƏRK MADDƏLƏRDƏ RADİASIYA-KİMYƏVİ TƏSİR

#### **Bərk maddələrin quruluşunun radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri**

Maddənin bərk halının qaz və maye halından əsas fərqi onun quruluşundakı yaxın nizamlılıqdır. Bu da bərk maddələrdə strukturun (quruluşun) olmasına səbəb olur.

Şüaların bərk maddələrə təsiri ona şüalanma enerjisinin əhəmiyyətli dərəcədə verilməsini nəzərdə tutur. Şüalanma enerjisi o qədər yüksəkdir ki, nəinki tərkibi, hətta strukturu da dəyişmək mümkündür.

Bərk maddələr üçün struktur onları müəyyənləşdirən xarakteristikadır. Strukturun dəyişməsi nəyə gətirib çıxarar? Bunun üzərində ətraflı dayanaq.

Dayanıqlı (sabit, möhkəm) strukturda sərbəst enerji minimumdur. Şüalanma təsirindən bərk maddə dayanıqsız vəziyyətə keçir. Udulan enerji şüalanan maddənin strukturunu dağdır ki, bu da defektlərin yaranmasına səbəb olur. Udulan enerji nə qədər çox olsa, defekt bir o qədər çoxalır.

Udulan şüalanma enerjisi toplanan defektlərin kəmiyyət xarakteristikasıdır.



*Elə fikirləşmək lazım deyil ki, struktur-  
da defektlərin yaranmasına səbəb radiasiyadır.*

*Defektlər dayanıqlı halda da mövcuddur. Mono-  
kristalların alınma texnologiyası heç də asan məsələ deyil.  
İdeal kristalların varlığı prinsipcə mümkün ola bilməz, çünki  
vintvari dislokasiya istənilən kristalda mövcuddur.*

Şüalanmanın təsiri yalnız defektlərin sayının artmasına səbəb olur. Onlar istənilən təbiətə malik ola bilər və aşağıdakı səbəblərdən meydana çıxırlar:

- mexaniki emal zamanı – cilalama, yayma;
- termiki emal zamanı – əridilmə;
- elektrikle emal zamanı – elektrik keçiriciləri kimi istifadə;
- maqnitlə emal zamanı – maddələrin elektrik sobalarında sintezi;

Kimyaçıları, təbii ki, kimyəvi yolla – aşqarlar əlavə edilməsi ilə alınan defektlər maraqlandırır.

Aşqarların olması bərk maddəyə möhkəmlik verir və onun şüalanmaya davamlılığını artırır.

Yaranan defektlər sistemi sabit vəziyyətə onun bütün xassələrini dəyişməklə çevirirlər:

- optik
- elektrik
- kimyəvi və s.

Məsələn, almaz kimi dielektrik neytron selində yarım-keçiriciyə çevrilir. Deməli, şüalanma enerjisi qadağan olunmuş zonanın enini şüalanan maddənin elektrik xarakteristikasını dəyişməklə azaldır. Bərk maddələrdə şüalanma zamanı enerji sərfi tələb edən istənilən prosesin getməsi asanlaşır, məsələn kimyəvi reaksiyanın sürəti artır.

Şüalanmanın təsirindən bərk maddənin ilkin strukturu modifikasiya olunur ki, bu da onun forma və ölçülərinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu isə öz növbəsində bərk maddənin həcmnin artıb-azalmasına, deməli, həm də sıxlığının artıb-azalmasına səbəb olur. Məsələn, birinci halda neytron selinin təsirindən daş duzun kristalı narın kristallı toza çevrilməklə



mexaniki dağılır.

İkinci misal kimi bərk maddənin həcmnin güclü şüalanma nəticəsində artmasını göstərmək olar. Bu zaman bərk maddənin strukturunda defektlərin pıxtalaşması (koaqulyasiyası) ucbatından böyük məsamələr əmələ gəlir.

Radiasiyanın bərk maddəyə nüfuz etməsinin xarakterik xüsusiyyəti onun müxtəlif dərinliklərdə udulmasının seçiciliyidir. Ona görə də lazım gələrsə bərk maddənin hər hansı bir sahəsini müəyyən dərinlikdə şüalandırmaq mümkündür. Bu xüsusiyyət radiasiyanın tibbdə tətbiqi üçün vacibdir. Şüalanmanın nüfuz etmə dərinliyi şüa mənbəyinin gücündən düz mütənasib asılıdır.

### **Bərk maddələrin tərkibinin radiasiya-kimyəvi əlaqələrə təsiri**

Maddənin quruluşundan asılı olaraq şüalanmanın ona təsirini nəzərdən keçirək. Kristalın enerjisi iki tərkib hissədən ibarətdir:

- qəfəsin enerjisi
- qəfəsi əmələ gətirən elementlərin əlaqə enerjisi.



*Kimyaçuları xüsusi ilə sonuncu məsələ*

*narahat edir:*

*bərk maddələrin dayanıqlığı onları xarakterizə edən kimyəvi əlaqələrin növündən asılıdır mı?*

*Şüalanma təsirindən bərk maddədə olan bütün əlaqələri çox asanlıqla pozmaq olar. Kimyəvi əlaqələrin növü, eləcə də möhkəmliyi elementin Mendeleeyevin dövrü cədvəlindəki yerindən asılı olaraq dəyişir. Bu da öz növbəsində bərk maddələrin radiasiyaya dayanıqlığının onu əmələ gətirən atomların yükündən və elektron quruluşundan asılılığını müəyyənləşdirir.*

Elementlərin atom kütlələrinin artması ilə şüalanma enerjisinin udulmasının xətti xarakteri müəyyən olunmuşdur. Bu da mürəkkəb çoxelektronlu qılafların qeyri-sabitliyini təsdiq etdi.

Xətti asılıqla yanaşı, udulan şüalanmanın kimyəvi elementlərin xassələrinin dəyişməsindən dövrü asılı olduğu da qeydə alınmışdır. Bu dəyişikliklər dövrü təkrar olunan s, p, d və f elektron quruluşundan da asılıdır.

Kimyəvi elementlərin bərk halda homobirləşmələri metal və kovalent qeyri-polyar əlaqələrlə xarakterizə olunan s,

p, d və f metallara və p qeyri-metallara ayrılırlar. Eyni miqdar da şüalanmaya məruz qalan metallar qeyri-metallara nisbətən daha dayanıqlıdırlar.

Kimyəvi elementlərin bərk heterobirləşmələrində əsas əlaqələr ion, kovalent polyar və metal əlaqələridir.

Müxtəlif intermetal birləşmələr radiasiyaya qarşı daha yüksək davamlılığa malikdirlər. Əksinə, dövrlərin başlanğıcında dayanan elementlərlə qeyri-metal elementlərin birləşmələri, məsələn qeyri-metalla s-metalların birləşmələri, şüalanmanın təsirinə qarşı az dayanıqlıdır.

Atomların hər bir elektron strukturu hər hansı bir əlaqə növünün yaranmasına səbəb olur. Müxtəlif əlaqələrin əsas xarakteristikası onların möhkəmliyidir. Zəif kimyəvi əlaqəli maddələr şüalanma təsirindən güclü dəyişikliyə məruz qalırlar, əksinə, güclü kimyəvi əlaqəli maddələr isə həmin miqdarda şüalanmanın təsirindən çox az dəyişirlər. Şüalanmanın təsirinə ən davamlı maddələr metal əlaqəliyədir, ən az davamlılığı olanlar isə ion birləşmələridir. Kovalent quruluşlar aralıq vəziyyət tutur.



*Uzun müddət bunun əksini fikirləşirdilər.*

*Çünki ion birləşmələrə nisbətən metalların quruluşunda şüalanmanın təsiri kəsildikdən sonra defektlərin sayı daha çox olurdu.*

*Sonralar müəyyən olundu ki, əgər bərk maddənin strukturunun dəyişməsinə az şüalanma enerjisi kifayət edirsə, bu halda o kiçik enerji ilə sabit vəziyyətə keçməklə asanlıqla bərpa olunur. Belə sistemlərdə şüalanma nəticəsində əmələ gələn defektlərdən maddələrin sadəcə olaraq termiki emalı ilə xilas olmaq mümkündür.*

*Deməli, güclü əlaqəli maddələrdə dəyişikliyin baş verməsi üçün çox enerji sərf etmək lazımdır. Çox çətinliklə yaranan hər hansı bir şey, çox çətinliklə də dağılır, çünki belə defektlər uzun müddət saxlanılır. Onların dağılması üçün termiki emalının enerjisi kifayət deyil.*

Şüalanma miqdarını dəyişməklə strukturu və xassələri qabaqcadan proqnozlaşdırılmış maddələr almaq mümkündür. Zəif əlaqəli maddələri şüalandırmaqla inqilabi dəyişikliklər almaq mümkün deyil. Hansı ki, güclü əlaqəli maddələrdən şüalanma enerjisinin akkumulyatoru kimi istifadə edilə bilər.

Aşkar edilən qanunauyğunluqlar daha bir maraqlı nəticəni ortaya çıxardı. Termiki emal zamanı defektlərin yaranma və yoxa çıxma sürətlərinin bərabərliyi radiasiyanın təsirini

neytrallaşdırır. Beləliklə, termiki emal üçün müvafiq temperatur seçməklə bərk maddələrin strukturunda defekt əmələ gəlməsinin qarşısını almaq olar. Bu işə uzunömürlü və radioaktiv şüalanmanın təsirinə davamlı olan materialların yaranması üçün ən yaxşı yoldur.

Texnoloji prosesdə bərk maddələrin şüalandırılmasından istifadə edilməsinin aşağıdakı üstünlükləri vardır:

- alınan məhsulun kimyəvi təmizliyi
- radiasiya miqdarını dəyişmək imkanı
- prosesin aşağı temperaturda və ya sıfır dərəcədə aparılması.

## VIII FƏSİL

### ZƏNCİRVARİ RADİASIYA-KİMYƏVİ REAKSİYALAR

RKR-ın məhsullarının çıxımı udulan şüalanma enerjisi ilə düz mütənəsbdir və  $G$ , yaxud ion çıxımı (İÇ) kəmiyyətləri ilə təyin olunur.

Bütün RKR iki növə ayrılır:

- məhsullarının çıxımı ilkin maddənin şüalanma müddətindən asılı olan reaksiyalar
- məhsullarının çıxımı ilkin maddənin şüalanma müddətindən asılı olmayan reaksiyalar.

İlk baxışdan ikinci növ reaksiyaların mümkünlüyü məhsulların çıxımının udulan enerjiden əvvəllər müəyyən olunmuş asılılığı ilə düz gəlmir. Lakin elə reaksiyalar vardır ki, onların getməsi üçün kiçik bir təkan lazımdır, bunlar zəncirvari reaksiyalardır. Əgər zəncirvari reaksiyalarda yalnız prosesin başlanğıcına aid olan  $G$  kəmiyyətini bütün reaksiyalara aid etsək, onda zəncirvari RKR (ZRKR) üçün məhsulların çıxımı şüalanma intensivliyinin kvadrat kökü ilə düz mütənəsb asılılıqda olacaq.

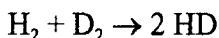
ZRKR-nın getmə qanunauyğunluqları kimyəvi, yaxud termiki zəncirvari reaksiyaların qanunauyğunluqlarından fərqlənir, çünki şüalanma nəticəsində aktiv mərkəzlər kimi təkcə atom və radikallar deyil, həm də ionlar əmələ gəlir.

Ona görə də digər enerji növləri ilə aparılan zəncirvari reaksiyalardan fərqli olaraq ZRKR ion mexanizmi üzrə də gedir.

Bütün zəncirvari reaksiyalar kimi onlar da budaqlanmış və budaqlanmamış olurlar. Alınan ionlar adi radikal zəncirvari reaksiyanın istiqamətini alınan aralıq məhsullarla qarşılıqlı təsirdə olmaqla dəyişə bilər.

### **Budaqlanmamış zəncirvari radiasiya-kimyəvi reaksiyalar**

Hidrogen və deyterium arasında izotop mübadiləsinin budaqlanmamış ZRKR-ı eyni komponentlər arasında gedən radikal və ion mexanizimli ZRKR-la müqayisə üçün misal ola bilər

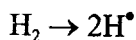


550-600°C temperaturda reaksiyanın sürət sabiti 1,5-ə bərabərdir. Deməli, əgər bu kəmiyyət ikinci tərtibdən deyilsə, onda reaksiya bimolekulyar deyil, zəncirvaridir.

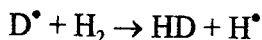
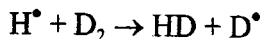
### **Radikal mexanizm**

Hidrogenin termiki oksidləşməsi zamanı reaksiya məhsulu kimi hidrogen, deyterium və hidrogenlə deyterium atomlarından ibarət qarışıq molekul alınması güman olunur:

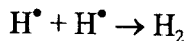
- zəncirin yaranması



- zəncirin inkişafı



- zəncirin qırılması





Şüalanma təsirindən zəncirin yaranması reaksiyası başlayır. Zəncirin aktivləşməsi və inkişafı enerjisi təxminən 8 kkal-dir.

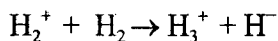
### İon mexanizmi

Yüksək təzyiqdə şüalanmanın hidrogen və deuterium qarışığına təsiri zamanı yüksək enerjili ionlar yaranır. Onlar aktiv hissəciklər kimi ZRKR-ın ion mexanizmini müəyyənləşdirirlər:

- zəncirin yaranması

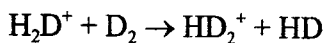
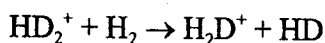
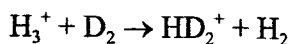


$\text{H}_2^+$  ionunun dissosiasiya enerjisi  $\text{H}_2$  molekulunun dissosiasiya enerjisindən azdır

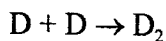
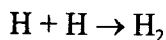
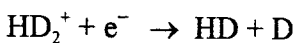
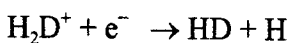
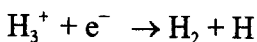
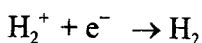


Belə reaksiya  $\text{H}_2^+$  və  $\text{H}_3^+$  ionlarının potensiallarının bərabərliyindən irəli gəlir;

- zəncirin inkişafı



• zəncirin qırılması



Masspektroskopiyanın köməyi ilə 380, 494, 615 K temperaturalarda  $\text{H}_2\text{D}^+$  və  $\text{HD}_2^+$  ionlarının mövcudluğu sübut olunmuşdur. Reaksiyanın zəncirvari xarakteri onun sürətinin temperaturdan asılı olmamasından irəli gəlir.

Reaksiyanın ion mexanizmi üzrə getməsinə aşqarlar əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Bu zaman reaksiyaya ionlaşma enerjisi hidrogen molekulunun ionlaşma enerjisindən (15,43 eV)

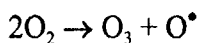
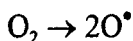
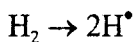
az olan kripton (14 eV) və ksenon (12,13 eV) kimi nəcib qazlar əlavə etməklə reaksiyanı ləngitmək və əksinə, ionlaşma enerjisi hidrogen molekulunun ionlaşma enerjisindən artıq olan helium (24,58 eV), neon (21,58 eV) və arqon (15,77 eV) əlavə etməklə reaksiyanı sürətləndirmək olar.

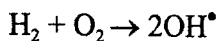
## **Budaqlanmış zəncirvari radiasiya-kimyəvi reaksiyalar**

### **Radikal mexanizm**

Hidrogenin oksidləşməsi prosesində budaqlanmış ZRKR-nın radikal mexanizmini nəzərdən keçirək. Bu prosesdə  $H^\bullet$ ,  $O^\bullet$  və  $OH^\bullet$  aktiv hissəciklərdir. Reaksiya aşağıdakı mərhələlərdə gedir:

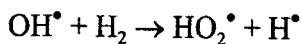
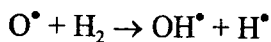
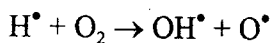
- zəncirin yaranması



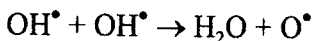
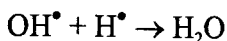
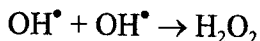
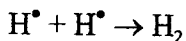


Bu reaksiyanın ən çox enerjili hissəsidir və yüksək aktivləşmə enerjisi də tələb edir. Termiki təsir zamanı zəncirin yaranması prosesi  $\text{OH}^\bullet$  radikalının yaranması ilə əlaqədardır və sonuncu reaksiya üzrə gedir. Şüalanmanın təsirindən hidrogen və oksigen atomları da əmələ gəlir.

- zəncirin inkişafı



- zəncirin qırılması



Hidrogen, hidrogen peroksid, su və oksigen bu reaksiyanın məhsullarıdır. Temperaturun artması oksidləşmə məhsullarının çıxımının artmasına səbəb olur. Əgər 25°C-də ozon və suyun əmələ gəlmə sürətləri bərabərdirsə, 500°C-də suyun çıxımı  $\approx 5$  molekul ozona qarşı 3 iona 450 molekul olur.

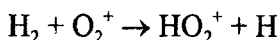
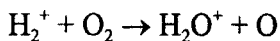
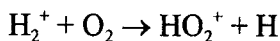
### İon mexanizmi

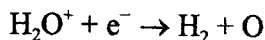
İon mexanizmi üzrə hidrogenin oksidləşməsi ZRKR-da  $H_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $H_2O^+$ ,  $HO_2^+$  ionları iştirak edir, hidrogen peroksid isə əmələ gəlmir:

- zəncirin yaranması



- zəncirin inkişafı

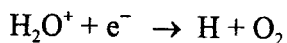
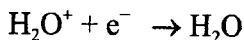
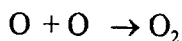
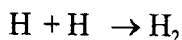




$\text{HO}_2^+$  ionunun əmələ gəlmə reaksiyası ekzotermikdir.

$\text{HO}_2^+$  ionunun mövcudluğu spektroskopiya üsulu ilə təyin olunmuşdur.

• zəncirin qırılması



Hidrogen və oksigenin ZRKR-nın radikal və ion mexanizmini müqayisə edək. Radikal mexanizm üzrə zəncirin qırılma imkanı radikalın aktivliyinin azalmasına səbəb olur. İon mexanizmi üzrə zəncirin qırılma prosesinə məcburi neytrallaşma reaksiyası səbəb olur.

## IX FƏSİL

### POLİMERLƏRİN RADİASIYA KİMYASI

RKR-ın çıxımı ilə şüalananan maddənin molekul kütləsi arasındakı düz mütənasib asılılıq olduğu üçün kimya texnologiyasında polimerlərin radiasiya kimyası (RK) adi üsullarla rəqabətdə iştirak edə bilər. Əgər sintezdə üstəlik zəncirvari reaksiyadan da istifadə edilərsə, onda polimerlərin RK-sı nəinki rəqabətdə iştirak edə bilər, hətta digər üsullardan daha üstün olar.

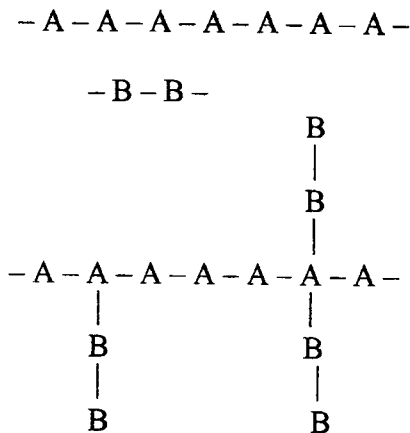
Polimerlər kimyasında şüalanmanın tətbiqi radiasiya-kimyəvi polimerləşmə proseslərinin öyrənilməsinə və mövcud polimerlərin modifikasiyasına səbəb odu.

#### **Radiasiya-kimyəvi polimerləşmə**

Radiasiya-kimyəvi polimerləşmə calaq sopolimerləşməsi və bloksopolimerləşmədən ibarətdir.

#### **Calaq sopolimerləşmə**

Calaq radiasiya-kimyəvi sopolimerləşmə (qraftsopolimerləşmə) sopolimerin şüalanması nəticəsində polimerdə onun xassələrindən fərqli xassələrə malik olan monomer budaqlarının formalaşmasından əmələ gələn birləşmədir:



Monomer bir neçə dəfə ola bilər. Modifikasiya olunan polimer altıq hesab olunur.

Maye fazalı qraftsopolimerləşmə prosesi RKR-ın radikal xarakterini nəzərdə tutur. Birbaşa calaq üçün iki üsul vardır:

- polimer və monomerin birgə şüalanması
- polimerin şüalanan monomerdə qabarması.

Monomerin calağı ilə yanaşı homopolimerləşməsi də baş verə bilər. Bu reaksiyanın qarşısını almaq üçün bəzi üsullar hazırlanmışdır, məsələn buxar fazadan polimerləşmə reaksiyası. Bu halda monomer buxarını qazdaşıyıcı və su buxarı ilə bir-



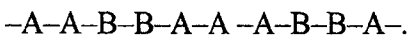
likdə polimerdən üfürürlər, bu zaman monomerin polimerə nüfuz etməsi artaraq, onun daha yaxşı qabarmasına səbəb olur.

### **Bloksopolimerləşmə**

Bu, polimer və monomer blokundan, yaxud iki monomer blokundan ibarət vahid zəncirin əmələ gəlməsi prosesidir.

Bu proses üç yolla həyata keçirilə bilər

- $-(A-A-A)_n$  polimerinin  $-B-B-$  monomeri iştirakında şüalanması. Şüalanma təsirindən polimer parçalanır və monomerlə vahid zəncir əmələ gətirir



- iki polimerin  $-(A-A-A)_n-$  və  $-(B-B-B)_m-$  şüalanması ilə, onlar parçalanır və nəticədə zəncir əmələ gətirirlər



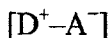
- iki monomerin D (elektron donör) və A (elektron akseptor) şüalanması ilə növbələşən polimer alırlar



Onların əmələ gəlmə mexanizmi cütlüyün əmələ gəlməsi ilə müəyyən olunur



Donordan akseptora elektron ötürülməsi ilə ion kompleksinə əmələ gəlir



O, növbələşən polimer əmələ gəlməsinə səbəb olur. Kompleksdə donor-akseptor əlaqələrinin olması növbələşən polimerlərə əlavə sabitlik verir.

### **Polimerlərin radiasiya-kimyəvi modifikasiyası**

Polimerlərin modifikasiyası həm ion, həm də radikal mexanizmi üzrə gedə bilər. Polietilen  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$  misalında əsas strukturlaşma mexanizmlərini nəzərdən keçirək.

### **Polietilenin ion mexanizmlili modifikasiyası**

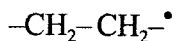
Şüalanmanın təsiri altında polimer ion və elektron əmələ gətirməklə parçalanır. Alınan ionlar ya neytrallaşma reaksiyasına girir, ya da radikal əmələ gətirməklə parçalanır. Birinci halda ilkin polimerin təkrar həyəcanlanması imkanı yaranır.

Şüalanma təsirindən yaranan ionlar üçün aşağıda göstərilən proseslər xarakterikdir

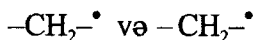


Yaranma ilə neytrallaşma:

- bir radikalın yaranması ilə



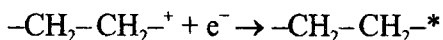
- bir neçə radikalın yaranması ilə



- radikal və hidrogenin yaranması ilə

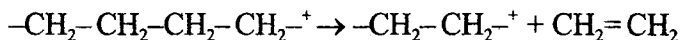


### **Polimerin təkrar həyəcanlanmış molekullarının yaranması ilə neytrallaşma**

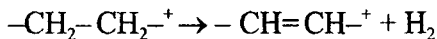


Neytrallaşma prosesi ilə qurtarmayan parçalanma. Bu zaman aşağıda göstərilənlər əmələ gəlir

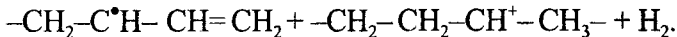
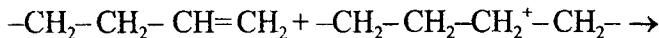
- ikiqat rabitə və molekulların qəlpəsi



- ikiqat rabitə və hidrogen

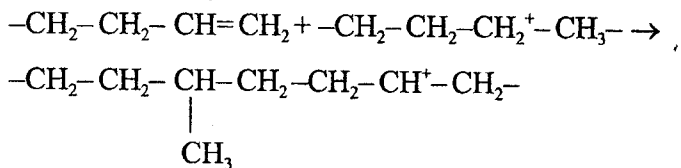


- ikiqat rabitəsi saxlanan radikal və hidrogen



### **Neytrallaşma prosesi ilə bitməyən polimerləşmə**

- ikiqat rabitəni saxlamadan

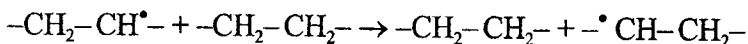


### Polietilenin radikal mexanizmlı modifikasiyası

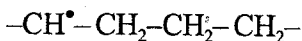
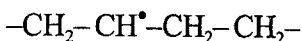
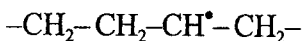
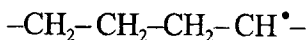
Polietilendə radikal mexanizm üzrə gedən prosesləri radikalların öz aralarında və radikallarla hidrogen arasında olan təsirlərə ayırmaq olar.

#### Polietilenin modifikasiyasında radikalarası təsir:

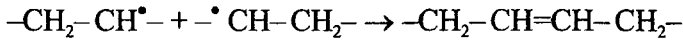
- sərbəst valentlik mübadiləsi ilə



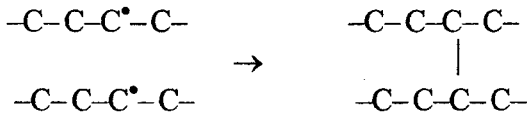
- sərbəst valentliyin yerdəyişməsi



- rekombinasiya zamanı ikiqat rabitə əmələ gəlməklə polimerləşmə

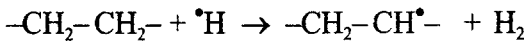


- köndələn rabitə əmələ gəlməklə rekombinasiya

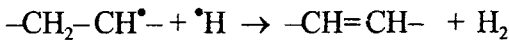


### Polietilenin hidrogen iştirakı ilə modifikasiyası

- ikiqat rabitə əmələ gəlmədən hidrogenin ayrılması

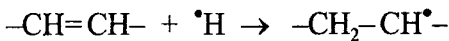


- ikiqat rabitənin əmələ gəlməsi və hidrogenin ayrılması



- ikiqat rabitənin hidrogenləşməsi və radikal əmələ

gəlməsi



Hidrogenləşmə və dehidrogenləşmə prosesləri udulan şüalanma enerjisinin hidrogen molekulunun dissosiasiyası üçün artıq kifayət etməyəcəyi vaxta qədər ardıcıl gedir.

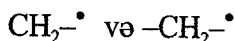
## Polietilenin modifikasiyasında həyəcanlanma mexanizmi

Polimer molekulunun təkrar həyəcanlanması

- ya dissosiasiyaya,
- ya zəncirin budaqlanmasına,
- ya da ikiqat rabitənin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Dissosiasiya polietilenin xırdalanmasına və

- bir neçə radikalın

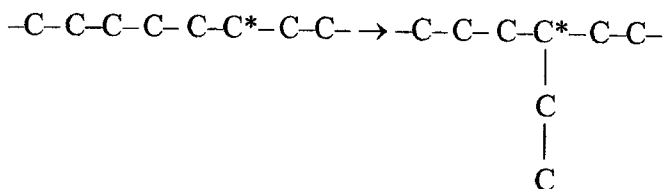


- radikal və hidrogenin əmələ gəlməsinə səbəb olur

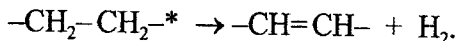


Budaqlanma karbohidrogen zəncirində həyəcanlanmış

atomun yerləşdiyi yerdə baş verir



İkiqat rabitənin əmələ gəlməsi hidrogen molekulunun qopmasına səbəb olur



## X FƏSİL

### TƏTBİQİ RADİASIYA KİMYASI

#### Tətbiqi radiasiya kimyasının əsasları

XX əsrin ikinci yarısı radiasiya kimyasının yaranması və sürətli inkişafı ilə əlamətdardır. Radiasiya reaksiyalarının yüksək enerjisi çoxlu miqdarda aktiv hissəciyin yaranmasına səbəb oldu. Əvvəllər elə görünürdü ki, kəmiyyət və keyfiyyəti qabaqcadan bilmək, hətta şüalanma enerjisindən texnologiyada istifadə etmək çox çətindir. Lakin bu sahədəki tədqiqatlarla fiziki-kimyəvi proseslərin ionlaşdırıcı şüalanma təsiri ilə getmə qanunauyğunluqları müəyyən olundu. Kimyəvi çevrilmələrin istiqamətini tənzimləyən üsullar hazırlandı, maddələrə şüalanmanın təsiri haqqında böyük nəzəri materiallar toplandı.

Elə onda nüvə enerjisindən sənayedə kimyəvi proseslərin aparılması üçün istifadə etməyə başladılar. Kimyanın yeni sahəsi – tətbiqi radiasiya kimyası meydana gəldi. Şüalanma mənbəyindən ya tam texnoloji tsikli, ya da onun hər hansı bir

mərhələsini aparmaq üçün istifadə etməyə başladılar. Radiasiya kimyasının bu nəzəri bölmələri onun əsasını təşkil etdi.

• müxtəlif şüalanma növlərinin maddəyə təsirinin xüsusiyyətləri

• RKR-ın energetik xarakteristikası

• RKR-ın getmə mexanizmi

Radiasiya kimyasının meydana çıxması ilə yeni aparatların yaradılması və yeni texnologiyalar hazırlanması probleminin həlli vacib oldu. Birinci problemin həlli mühəndislərin ixtiyarındadır, biz isə ikinci problemi ətraflı nəzərdən keçirək.

## **TƏTBİQİ RADİASIYA KİMYASININ VƏZİFƏLƏRİ**

Radiasiya kimyasının yeni texnologiyasının yaradılmasında aşağıdakı məsələlər ortaya çıxır:

### **Pilot (təcrübə) qurğusunun ölçüləri**

İstənilən prosesin texnologiyasının əsas xüsusiyyəti onun laboratoriya qurğusundan yarımşənaye qurğusuna keçidinin pilot qurğusundan həyata keçirilməsidir. Lakin radiasiya kimyasında belə qurğu həm tədqiqat işlərini yerinə yetirməli, həm də layihələşdirilmə üçün dəlillər yığmalıdır. Deməli bi-



rinci hal üçün qurğunun ölçüləri kiçik, ikinci hal üçün isə mütləq böyük olmalıdır.

Bu da radiasiya kimyası texnologiyasının yaradıcıları qarşısına çıxan əsas təzaddır. Bu səbəbdən də əldə olunmuş məlumatlar təxmini olur və əksər hallarda əvvəllər aparılmış təcrübələrin ekstrapolyasiyasına əsaslanır.

### **Tədqiqat diapazonunun seçilməsi**

Şüalanma miqdarını (dozasını) seçmək çox mürəkkəb məsələdir. Çünki axtarılan diapazon əsasən çox kiçik olur. Belə şəraitdə optimal texnoloji rejimi görmək mümkün olmur. Məsələn, Lauton müəyyən etmişdi ki, oduncağı dağıdan bakteriyaları məhv edən radiasiya texnoloji rejiminin piki  $10^6$  r-dir. Əgər o,  $10^6$  r intervalı tədqiq etməsəydi, heç cürə oduncağın bakteriyaya davamlılığını radiasiyanın artırılması ilə müşahidə edə bilməzdi.

### **Tətbiqi radiasiya kimyasının xüsusiyyətləri**

Tətbiqi radiasiya kimyasının xüsusiyyətləri onun üstün cəhətlərindən ☺ və nöqsanlarından ☹ ibarətdir.

## **Radiasiya kimyası texnologiyasının üstünlükləri**

☺ **ilkin maddələrin aqrekat halından və formalarından asılı olmayaraq tətbiq olunma imkanı**

Bu xüsusiyyəti ionlaşdırıcı şüalanmanın enerjisi müəyyənləşdirir. Onun yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə və bütün həcm boyu bərabər paylanmasına səbəb olur. Şüaların maddəyə nüfuz etməsində məhdudiyyətin olmaması ondan istifadəni asan və effektiv edir, əksər hallarda isə yeganə imkana çevirir. Məsələn, laylı və ya kanallı polimerlər almaq üçün yalnız ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirindən istifadə etmək lazımdır.

☺ **mütəhərriklili**

Radiasiya kimyası texnologiyasının qeyri-stasionar şəraitdə istifadəsi nəzərdə tutulur. Davamlı mexanizmlərlə işləmək üçün bu xüsusiyyət çox mühümdür.

☺ **istehsalata lazım olan sahənin kiçik ölçülü olması**

İstehsalat üçün lazım olan sahəyə (əraziyə) qənaət kimyəvi şüalanma texnologiyasında böyük əhəmiyyət kəsb

edir, çünki əksər hallarda o, istehsal texnologiyasında həlledici faktordur.

### ☺ **enerjiyə qənaət**

İstənilən kimya-texnologiya prosesi reaksiya məhsullarının aktiv vəziyyətə keçməsi üçün tələb olunur:

- ya katalizatorlardan istifadə olunması, bu da məhsulun təmizliyinə mənfi təsir göstərir
- ya da müəyyən enerji sərfi, termokimyəvi reaksiyalarda istilik tətbiq olunması.

RK reaksiyalar adi və ya aşağı temperaturlarda aparılır. Şüalanma enerjisi aktiv hissəciklərin – həyəcanlanmış molekul, atom, radikal və ionların yaranmasına kifayət edir. Radiasiya kimyəvi sintezin tətbiqi əvvəllər yalnız yüksək temperaturlarda alınması mümkün olan maddələri aşağı temperaturlarda almağa imkan yaratdı.

### ☺ **orijinal məhsulların alınması**

Aşağı temperaturlu RK reaksiyaların aparılması polimerlərlə işləyərkən çox mühümdür. Çünki termiki təsir polimerin böyüməsinə mane olur.

Bu, yüksəkmolekullu birləşmələrin xassələrində keyfiyyət dəyişmələrinə gətirib çıxarır. Temperaturun artması ilə

- polimerin quruluşunda nizamsızlıq
- budaqlanmış zəncirlərin sayı
- köndələn əlaqələrin sayı
- polimerlərin tikilmə (calaqlanma) qabiliyyəti artır.

Beləliklə, RK texnologiyası aşağı temperaturlarda digər üsullarla alınması qeyri-mümkün olan tərkib və quruluşca orijinal birləşmələr alınmasına imkan yaradır.

#### ☺ yüksək sürət

Bu çox vacib, hətta RKR-nı şərtləndirən bir xarakteristikadır.

### **Radiasiya kimyası texnologiyasının nöqsanları**

#### ☹ şüa mənbəyinin qiyməti

Bu faktorun əhəmiyyəti böyükdür, ona görə də kimyaçıların deyil, iqtisadçıların və maliyyəçilərin sahəsi olmasına baxmayaraq onun öyrənilməsinə də fikir verilməlidir.

#### ☹ radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi

Şüa mənbəyinin radioaktivliyi işçi heyətin, ərazinin, texnoloji prosesin, daşınmaların, məhsul istehlakçılarının və s. təhlükəsizliyinin təmin edilməsini nəzərdə tutur.

### **Paralel radiasiya-kimyəvi üsullar**

Tətbiqi radiasiya kimyasında paralel və orijinal istehsal üsulları mövcuddur.

Paralel texnologiyalar məlum məhsulların alınması üçün hazırlanmışdır. Burada yeni enerji mənbəyinin xüsusiyyətləri yeni keyfiyyət xarakteristikalı maddələrin alınması üçün istifadə olunmur.

Əgər zəruri məhsulları adi kimyəvi üsullarla da almaq mümkündürsə, onda ənənəvi üsullarla radiasiya-kimyəvi texnologiyalardan birini seçmək mümkündür. Bunun üçün radiasiya-kimyəvi texnologiyalarla adi istehsal texnologiyasını müqayisə etmək lazımdır, çünki onlar yan (kənar) məhsullara görə, ilkin məhsulların təmizliyinə qoyulan tələblərə görə, iqtisadi mənfəətə görə, texnoloji sxemə görə fərqlənirlər. Onların xarakteristikalarını müqayisə etməklə bu və ya digər üsulun üstünlüyü aşkar edilir. Radioaktiv mənbələrin bahalı olmasına görə seçki radiasiya-kimyəvi texnologiyanın xeyrinə olmur.

Buna görə də üstün cəhətləri olmasına baxmayaraq, sənayedə paralel metodların istifadəsi iqtisadi cəhətdən həmişə əlverişli olmur.

Yadda saxlamaq lazımdır ki, paralel metodlar təkcə sintez üçün yox, həm də müxtəlif obyektlərin təmizlənməsi və dezinfeksiyası üçün istifadə olunur. Onların istifadə diapazonu çox genişdir: bir-birindən çox uzaq olan sahələrdə, məsələn tibb və ağac emalı sənayesində istifadə olunurlar.

Paralel radiasiya-kimyəvi texnologiyaları sadə və qarşdırılmış (kombinə olunmuş) üsullara ayırmaq olar. Əgər birincidə bütün texnologiya radioaktiv şüalanma enerjisindən istifadə edirsə, ikincidə ionlaşdırıcı şüalanma texnoloji tsiklin mərhələlərindən yalnız birində istifadə olunur. Bir neçə misallı nəzərdən keçirək.

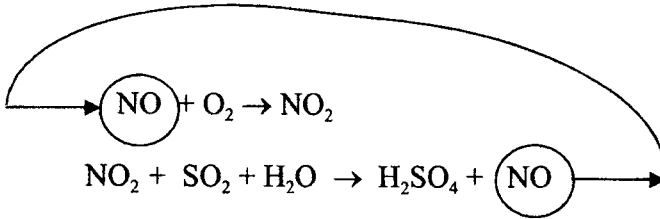
### **Sadə paralel radiasiya-kimyəvi metodlar**

#### **Qeyri-üzvi maddələrin radiasiya-kimyəvi sintezi**

Sulfat turşusunun RK üsulla alınmasını məlum kimyəvi

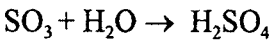
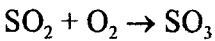
– kamera və kontakt üsulları ilə müqayisə edək.

Sulfat turşusunu **kamera üsulu** ilə qurğuşun konteynerlərdə və çox da yüksək olmayan temperaturlarda alırlar.



Reaksiya su mühitində, homogen katalizator – azot turşusu iştirakında aparılır. Ən gözə çarpan nöqsan alınan məhsulun qatılığının az olması və çirkliliyidir.

Sulfat turşusunu **kontakt üsulu** ilə istənilən qatılıqda almaq olar



Birinci reaksiyanın tarazlığını kükürd oksidinin (+6) alınması tərəfə yönəltmək üçün heterogen katalizatorlardan, məsələn vanadium, yaxud platin oksidindən istifadə edilir. Katalizatorların oksidləşməsinin qarşısını almaq üçün onların ciddi təmizlənməsi aparılmalıdır.

Sulfat turşusunun RK üsullarla alınması şübhəsiz ki,

perspektivlidir və hazırda müsbət cəhətlərə malikdir:

### **Texnoloji**

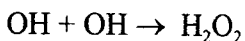
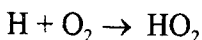
- məhsulun təmizliyi
- orta təmizlikli xammaldan istifadə
- təkrar istehsalın asanlıığı
- idarəetmənin sadəliyi
- texnoloji əməliyyatların sayının azalması

### **İqtisadi**

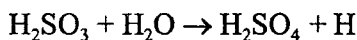
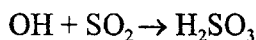
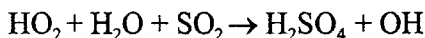
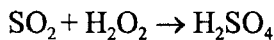
- zavodun ölçülərinin kiçik olması
- nəqliyyat xərclərinin aşağı düşməsi

Hazırda sulfat turşusunun alınması üçün RKT-dan istifadə alınan məhsulun qiymətini qaldırır. Lakin texnologiyanın təkmilləşdirilməsi bu üsulun iqtisadi cəhətdən əlverişliliyini artırır.

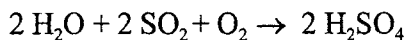
RK sintezində baş verən reaksiyaların hamısını sadalamaq mümkün deyil, ancaq onlardan bəzilərini göstərə bilərik:



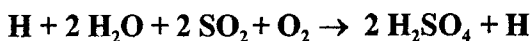




Bu reaksiyaları toplasaq

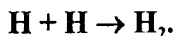


*Elə düşünməyin ki, zəncirvari reaksiya gedir:*



*çünkü alınan hidrogenin bir hissəsi*

*rekombinasiya reaksiyasına girir*

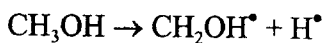


Hidrogenin əmələ gəlməsi onun reaksiyadan kənarlaşdırılmasını tələb edir, buna görə də hidrogenin əmələ gəlməsi avtomatik qeydə alınmalıdır.

### Üzvi birləşmələrin radiasiya-kimyəvi sintezi

Etilenqlikolun aşağıda göstərilən üsulla alınmasına şüalanma enerjisindən maksimum istifadə etməklə nail olmaq olar. Yüksək effektiv birmərhələli proses metanolun  $\text{CH}_3\text{OH}$

şüalanmasından alınan  $\text{CH}_2\text{OH}^\bullet$  radikallarının rekombinasiyası ilə gedir



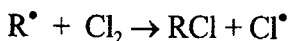
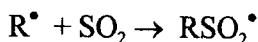
Bu – birmənalı olaraq çox cəlbədicə metoddur, çünki çox əziyyətli kimyəvi üsulun alternativini kimi təklif olunmuşdur.

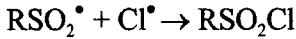
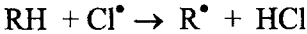
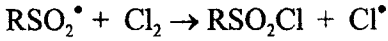
### **Zəncirvari radiasiya-kimyəvi reaksiyalar**

Parafinlərin sulfoxlorlaşdırılmasını nəzərdən keçirək. Bu üsulla yüksək effektiv sintetik yuyucu maddələr, yəni bioloji əlavələr alınır. Bu ionlaşdırıcı şüalanmanın sənayedə tətbiqinə geniş misaldır. Texnologiya maye fazada gedən zəncirvari reaksiyaya əsaslanır



Reaksiyanın aparılması üçün 30%-li sulfoxlorid məhlulunda həll olmuş parafinlər  $\gamma$ -şüaların  $^{60}_{27}\text{Co}$  təsiri altında aşağıdakı reaksiyalara səbəb olurlar:





### **Radiasiya-kimyəvi polimerləşmə**

O, katalizator və ya inisiator iştirakında gedən reaksiyalara alternativ olaraq təklif olunmuşdur. RK polimerləşmənin bəzi xüsusiyyətlərinə baxaq.

- Katalizator və inisiatorlar polimerlərin çirklənməsinə və beləliklə də onların keyfiyyətinin korlanmasına səbəb olur.

Ona görə də xüsusi təmiz polimerlərin alınması üçün texnologiyaya çox zəhmətli və baha başa gələn təmizləmə prosesi də daxil edilməlidir.

Radiasiya kimyasında polimer reaksiyaları üçün inisiator kimi "doğma" monomerin həyəcanlanmış molekullarından istifadə edilir və bununla da çirklənmənin qarşısı alınır.

- Adi polimerləşmə texnologiyasında inisiator və ya katalizatorun miqdarı vaxt keçdikcə azalır ki, bu da prosesin effektivliyini aşağı salır.

Radiasiya-kimyevi polimerləşmədə isə prosesin effektivliyi yalnız şüalanmanın intensivliyindən asılıdır.

- Klassik üsullarla polimerləşmə texnologiyasında yüksək temperaturdan istifadə edilir. Bu isə prosesi aktivləşdirən maddələrin - katalizator və ya inisiatorun parçalanmasına səbəb olur. Ekzotermik təsirdə onların parçalanması daha da güclənir.

Radiasiya-kimyevi reaksiyalara isə bu vəziyyət heç bir təsir göstərmir.

- Radiasiya şüalanmasının təsirindən ikinci dərəcəli proseslərin məhsulları əmələ gəlir.

Onların əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün RK texnologiyalarında alınmış polimerin fasiləsiz olaraq reaktordan çıxarılması nəzərdə tutulur.

- İonlaşdırıcı şüalanmanın enerjisi o qədər çox olur ki, kimyevi təsire səbəb olan aktiv hissəciklər kimi nəinki radikal-lar, həm də daha çox enerjili ionlar yaranır. Lakin bu heç də o demək deyil ki, RK reaksiyalar yalnız ion mexanizmi ilə gedəcək.



## **Reaksiyanın hansı mexanizm üzrə gedəcəyini necə təyin etmək olar?**

*Bunu bir neçə yolla etmək olar.*

*Aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilərsə, onda radiasiya-kimyəvi reaksiya radikal mexanizmlə gedir:*

- *reaksiyanın sürəti şüalanma dozasının gücü ilə 0,5 tərtibində mütənasibdir;*
- *alınan polimerin molekul kütləsi şüalanma dozasının gücü ilə -0,5 tərtibində mütənasibdir;*
- *temperaturun artması ilə polimerin molekul kütləsi və reaksiyanın sürəti artır;*
- *reaksiyanın sürətini azaldan sərbəst radikallar əlavə etdikdə məhsulun çıxımı azalır;*
- *radikal və radiasiya-kimyəvi sopolimerləşmə reaksiyalarının sabitləri eyni olur.*

*Aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilərsə, onda radiasiya-kimyəvi reaksiya ion mexanizmi ilə gedər:*

- *reaksiyanın sürəti şüalanma dozasının gücü ilə birinci tərtibdə mütənasibdir;*
- *polimerin molekul kütləsi şüalanma intensivliyindən asılı deyil;*

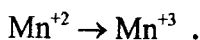
- temperaturun təxminən mənfi 30<sup>0</sup>C-yə qədər düşməsi ilə alınan polimerin molekul kütləsi və reaksiyanın sürəti artır;
- reaksiyanın sürətini azaldan ionlar əlavə etdikdə məhsulun çıxımı azalır;
- ion-kimyəvi və radiasiya-kimyəvi sopolimerləşmə reaksiyalarının sabitləri eyni olur.

### **Qazların radiasiya-kimyəvi təmizlənməsi**

Radiasiya-kimyəvi texnologiyanın üsulları nəinki sintez üçün, həm də zərərli qarışıqlardan təmizləmək üçün istifadə olunur. Hər təklif olunan proses sxemi üçün məsələnin konkret həlli tapılır.

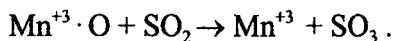
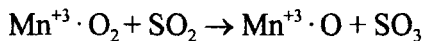
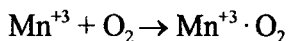
### **Sulfat turşusu istehsalında qaz tullantılarının tutulması üçün radiasiya-katalitik üsul**

Bu üsulla  $\gamma$ -şüalanmanın təsiri ilə manqan sulfatın (+2) zəif məhlulundan kükürd oksidi (+4) buraxılır. Əvvəlcə suyun radioliz məhsullarının təsiri ilə manqanın oksidəlməsi (+3) baş verir

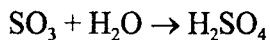


Sonra manqan (+3) oksigenlə qeyri-sabit kompleks ion

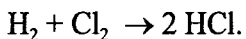
$Mn^{+3} \cdot O_2$  əmələ gətirir ki, bu da oksigeni oksidləşməli olan kükürd oksidə (+4) aparr



Alınmış kükürd oksidinin (+6) tutulması onun suda həll olması ilə baş verir



**Elektrolitik xlorun hidrogəndən təmizlənməsinin radiasiya-kimyəvi üsulu** radiasiya kimyasının çoxdan məlum olan nəticələrindən istifadə edir. Prosesin əsasını zəncirvari reaksiya təşkil edir



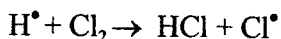
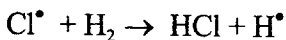
Bu reaksiyanın fotokimyəvi və radiasiya-kimyəvi mexanizmlərinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, bu reaksiyaların çıxımları eynidir – hər ion cütünə  $10^5$  molekul düşür. Lakin mexanizmlər bir-birindən fərqlənir. Fotokimyəvi reaksiya şüalanma təsiri ilə gedən kimyəvi reaksiyalar üçün

əsas olan sxem üzrə gedir:

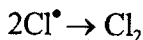
- zəncirin yaranması



- zəncirin inkişafı

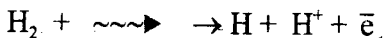
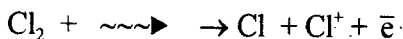


- zəncirin qırılması

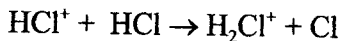
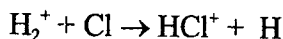
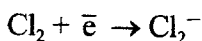


Bu reaksiyaların çıxımlarına əsasən demək olar ki, göstərilən radikal proses radiasiya-kimyəvi reaksiyalar üçün əsasdır, lakin yeganə deyil.

Bütün kimyəvi çevrilmələrdə şüalanma təsirindən radikallarla yanaşı ionlar da əmələ gəlir:







Bu ionların mövcudluğu kimyəvi və spektral analiz dəlilləri ilə təsdiq olunmuşdur. Lakin onların zəncirvari reaksiyada payı o qədər azdır ki, ion çıxımına təsir etmir. Bu proses bir daha göstərir ki, ionlaşdırıcı şüalanma ilə gedən reaksiyalar nəinki ion, həm də radikal mexanizmlə gedir.



*Əsaslı olaraq bəzi suallar ortaya çıxır.*

*Birincisi, əgər heç bir fərq yoxdursa, onda nə üçün baha başa gələn radiasiya-kimyəvi re-*

*aksiya aparılmalıdır?*

*Məsələ burasındadır ki, zəncirvari reaksiyanın getməsi üçün lazım olan şüalanmanın kiçik miqdarlarında şüadan istifadə iqtisadi cəhətdən əlverişlidir.*

*İkincisi, nə üçün bu zəncirvari reaksiyanın getməsi üçün fotokimyəvi mexanizmdən istifadə olunmur?*

*Çünkü işığın reaksiya zonasına nüfuz etməsi üçün çətinlik törənir və prosesin aktivləşməsi üçün temperaturun artırılması tələb olunur.*

**Kombinasiya edilmiş (uyğunlaşdırılmış, birləşdirilmiş) paralel radiasiya-kimyəvi reaksiyalar**

**Təbii suların radiasiya-kimyəvi təmizlənməsi**

Təbii suyun içməli suya çevrilməsi çoxmərhələli mürekkəb prosesdir. Mexaniki qarışıqlardan filtrlənib (süzülüb) təmizlənmiş suyun tərkibində üzvi qarışıqlar vardır. Adi halda pıxtalaşdırıcı və əhəngin köməyi ilə bu qarışıqları çökdürürlər.

Süzülmüş su daha sonra xlor və ya ozonla dezinfeksiya edilir. Üzvi qarışıqları tamamilə təmizləmək mümkün deyil. Xlorla reaksiyaya girərək konserogen xlorüzvi birləşmələr əmələ gətirirlər ki, mütləq onları təmizləmək lazımdır. Bu işə onsuz da asan olmayan təmizləmə prosesini bir az da çətinləşdirir. Bu səbəbdən də hazırda suyun təmizlənməsində xlorlardan imtina edirlər. Onu ya ozonla əvəz edirlər, ya da radiasiya zərərsizləşdirməsindən istifadə edirlər.

Suyun təmizlənməsi üçün kifayət edən ionlaşdırıcı şüalanmanın gücü o qədər də çox deyil, təxminən 1 kQr-dir. Şüalanmanın təsiri o qədər effektivdir ki, ondan tək-cə zərərsizləşdirmədə istifadə etmirlər.

Suyun təmizlənməsi üçün perspektivli birmərhələli metodika hazırlandı.

### **Çirkab sularının radiasiya-kimyəvi təmizlənməsi**

Sənaye çirkab sularının tərkibində qarışıqların qatılığı çox olduğu üçün təmizləmə prosesində ionlaşdırıcı şüalanmanın miqdarı əhəmiyyətli dərəcədədir. Bu isə suyun təmizlənməsində RKT-dan istifadəni iqtisadi və ekoloji cəhətdən əlverişsiz edir. Göstərilən halda bu üsul adi üsullarla – filtrləmə, flotasiya (zənginləşdirmə), adsorbsiya, koagulyasiya (pıxtılaşma), kimyəvi, bioloji – yanaşı istifadə olunur. Şüalanmanın təsirindən ənənəvi üsullardan əvvəl və sonra istifadə edirlər.

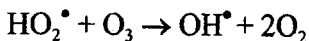
Polimer sənayesinin tullantı sularının təmizlənməsinin birinci mərhələsində şüalanmanın köməyi ilə suda həll olmuş monomeri polimer çöküntüyə çevirir və sonra ardıcıl olaraq çökdürmə, süzmə və adsorbsiya ilə təmizləyirlər.

Bəzən sellüloza-kağız istehsalında da tullantı sulara monomer əlavə edirlər. Monomerin şüalandırılmasından alınan polimer çöküntülər suda həll olmuş qarışıqları adsorbsiya edirlər.

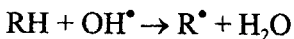
Maraqlıdır ki, kompleks metodlardan istifadə əksər hallarda sinergetik effektlərlə xarakterizə olunur. Başqa sözlə, reaktivlərin hər biri ayrılıqda az effektivdir, nəinki onların hamısı bir yerdə.

Belə texnoloji prosesə ozon-radiasiya təmizləməsi misal ola bilər. Ozon güclü oksidləşdiricidir, lakin seçici təsir edir. Tullantı suların təmizlənməsində o ikiqat rəbitəli üzvi birləşmələrlə reaksiyaya girir. Şüalanma təsirindən ozonun qarışıqlarla qarşılıqlı təsirinin effekti qat-qat çox olur. Üzvi qarışıqların zəncirvari parçalanma reaksiyası baş verir. Onun mexanizmini nəzərdən keçirək.

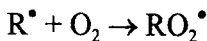
$\bar{e}_{aq}$  və  $H^+_{aq}$  havanın oksigeni ilə qarşılıqlı təsirdə olduqda az fəallığa malik  $HO_2^\bullet$  radikalı əmələ gəlir. Ozon onları aktiv hidrosil  $OH^\bullet$  radikalına çevirməklə aktivləşdirir



Hidroksil  $\text{OH}^\bullet$  radikalının üzvi qarışıqlarla reaksiyasından üzvi radikallar  $\text{R}^\bullet$  və su əmələ gəlir



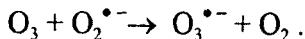
Bu radikalların havanın oksigeni ilə qarşılıqlı təsirindən  $\text{RO}_2^\bullet$  radikalları əmələ gəlir



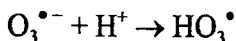
Onlar çox fəaldır və buna görə də qeyri-sabitdir. Suda dissosiasiyasından oksigenin ion radikalı  $\text{O}_2^{\bullet-}$  əmələ gəlir



Məhz bu ion-radikalla ozonun qarşılıqlı təsirinə görə həmin texnoloji sxem yüksək effektivliyə malikdir



Nəticədə neytral mühitdə ozonun ion-radikalı  $\text{O}_3^{\bullet-}$  ilkin radikal olan hidroksil  $\text{OH}^\bullet$  radikalına çevrilir



## **Qazların radiasiya-kimyəvi təmizlənməsi**

Sulfat turşusu istehsalı üçün əvvəl nəzərdən keçirdiyimiz qazların birləşdirilmiş təmizləmə üsulu ilə sadə RK üsulu müqayisə edək.

Əhənglə kükürd və karbon oksidlərinin kimyəvi təsiri şüalanmanın təsirini qabaqlayır. Alınmış sulfitlər, sulfatlar və karbonatlar kükürdlə birlikdə quruducuda toplanır.

İkinci mərhələdə reaksiyaya girməyən kükürdü ionlaşdırıcı şüalanma ilə oksidləşdirərək sulfat turşusuna çevirirlər. Sonra o əvvəlcə alınmış karbonatlarla və reaksiyaya girməmiş əhənglə qarşılıqlı təsirdə olaraq sulfat tozuna çevrilir və xüsusi filtrlərlə tutulur.

## **ORİJİNAL RADİASIYA-KİMYƏVİ ÜSULLAR**

Söhbət sintezi yalnız radiasiya-kimyəvi üsulla mümkün olan maddələrdən gedərkən, bu üsullar başqa üsullarla rəqabətdən kənarda durur. Bu halda əsas arqument sayılan ucuzluq öz aktuallığını itirir. Sadəcə olaraq məhsulun yüksək maya dəyəri

qanuni olaraq onun qeyri-adi xassələrini əks etdirir. Elə onlar da sənayedə orijinal metodların geniş tətbiqinə səbəb olur.

### **Polimerlərin radiasiya-kimyəvi modifikasiyası**

Polimerlərin şüalandırılması aşınmaya və istiliyə yüksək davamlı, elektroizolyasiya xassəli maddələr almağa imkan verir. Belə xarakteristikali polimerləri başqa texnologiyalardan istifadə etməklə almaq mümkün deyil. Həm də ki, polimerlərin yüksək molekul kütləsi bu üsulun istifadəsini birmənalı olaraq iqtisadi əlverişli edir.

Bunun nəticəsi olaraq polimerlərin RK alınma üsulu bo-ru, izolyasiya materialları, kauçuk, plyonka və mürəkkəb forma-lı müxtəlif eşyaların sənaye istehsalı proseslərinin əsasını təşkil edir. Bunlardan birinin üzərində ətraflı dayanaq.

### **Lak-boya texnologiyasında radiasiya kimyası**

Şüalanma maşınqayırma sənayesində, tikintidə, mebel sənayesində, radioelektronikada lak-boya örtüklərinin bərkiməsi

üçün istifadə olunur. Bu üsulun üstünlüklərini nəzərdən keçirək:

- prosesin birmərhələli olması
- yüksək möhkəmlik
- istənilən örtüyün – lak-boya, mala və astarlama örtüklərinin emalı
- emal işlərini istənilən səthdə – ağac, metal, plastmas, karton və s. – aparmaq mümkündür
- ani bərkimə
- standart temperatur şəraiti
- materiala, istehsalat sahəsinə, elektrik enerjisinə qənaət.

Havanın oksigeni, ozon və azot oksidləri örtüklərin bərkiməsinə mane olduğu üçün proses inert atmosferdə aparılır.



## XI FƏSİL

### RADİOAKTİV ÇİRKLƏNMƏ (ZƏHƏRLƏNMƏ)

#### PROBLEMLƏRİ

##### **Şüalanma mənbələrinin növləri**

Radioaktiv parçalanmadan asılı olaraq üç növ şüalanma qeydə alınır:

$\alpha$ -şüalanma ağır hissəciklərdən ibarətdir. Bu şüa seli dəridən keçə bilmir və adi kağız vərəqi ilə saxlanıla bilər;

$\beta$ -şüalanma böyük nüfuzetmə qabiliyyətinə malikdir. Bu şüalar dəridən keçir və 2sm dərinliyə nüfuz edir;

$\gamma$ -şüalanma işıq sürəti ilə yayılır, ondan yalnız qalın qurğuşun və ya beton qatı ilə qorunmaq olar.

##### **Şüalanma miqdarı (dozası)**

İonlaşdırıcı şüalanmanın canlı orqanizmlərə təsirini qiymətləndirmək üçün şüalanma miqdarı (dozası) anlayışı qəbul olunmuşdur. Məlum şüalanma miqdarlarından bəzisini nəzərdən keçirək.

### **Udulan doza (miqdar)**

$D_{\text{udul}}$  şüalandırılan cismin vahid kütləsi  $M$  tərəfindən udulan şüalanma  $E$  miqdarını göstərir:

$$D_{\text{udul}} = dE / dM$$

СИ vahidlər sisteminə görə ölçü vahidi qreydir (Qr), 1kq maddə kütləsinin udduğu 1 Coul enerjiyə müvafiq gəlir. 1 qrey = 100 rad.

100 Qr miqdarında udulan doza insanlar üçün öldürücüdür, 0,5-1 Qr şüalanma dozasında qan sistemi dağılır. Lakin yadda saxlamaq lazımdır ki, udulan şüaların eyni miqdarında  $\alpha$ -şüalanma mənbəyi digər mənbələrə nisbətən 20 dəfə artıq təhlükəlidir.

### **Ekspozisiya (təsir) miqdarı (dozası)**

$D_{\text{eksp}}$  havanın ionlaşma dərəcəsini təyin etmək üçün istifadə olunur və rentgenlərlə ölçülür  $1R = 0,873$  rad. Foton şüalanmasında ionların elektrik yükü cəminin  $Q$  havanın kütləsinə  $M$  olan nisbəti ilə ölçülür

$$D_{\text{eksp}} = dQ / dM.$$

## **Ekvivalent doza**

Udulan dozadan  $D_{udul}$  fərqli olaraq,  $D_{ekv}$  obyektə təsir edən şüaların xarakterini nəzərə alır. O, hər növ şüalanma üçün özünəməxsus əksətmə qabiliyyəti üçün düzəliş əmsallarını  $k$  nəzərə almaqla hesablanır

$$D_{ekv} = k D_{udul} .$$

Yuxarıdakı asılılıqdan görüldüyü kimi, eyni miqdarda udulma zamanı şüalanma təhlükəsi  $k$  kəmiyyətinin qiymətinin artması yüksəlir. Şüalanma təhlükəsi ionlaşdırıcı hissəciklərin kütləsi artdıqca da yüksəlir. Məsələn, elektron, pozitron kimi yüngül hissəciklər üçün  $k=0$ ,  $\alpha$ -hissəciklər və ağır nüvələr üçün  $k=20$ .

СН vahidlər sisteminə görə effektiv dozanın ölçü vahidi zivertdir.  $1 \text{ Zv} = 1 \text{ C/kq}$ . Tibbdə rentgenin ekvivalenti kimi sistemdən kənar olan ber vahidi qəbul olunub,  $1 \text{ Zv} = 100 \text{ ber}$ . Bu çox yüksək şüalanma dozasıdır. 1 zivert effektiv dozada insanlarda şüa xəstəliyi başlayır, ona görə də adətən millizivertdən istifadə olunur. İnsan üçün buraxıla bilən şüa miqdarı 1 ildə 0,005 zivertə bərabərdir.

## **Dozanın gücü**

$P$  müxtəlif dozaların artımının  $D$  şüalanmanın maddəyə

təsiretmə vaxtından t asılılığını göstəririr

$$P=dD / dt$$

Doza növlərindən asılı olaraq dozanın gücünün ölçü vahidi dəyişir

- udulan doza üçün –  $Qr/s$
- təsir dozası üçün –  $R/s$
- ekvivalent doza üçün –  $Zv/s$

### **Kerma**

K udulan dolayı (ikinci dərəcəli) şüaların dozasını müəyyənləşdirir. Bu kəmiyyət maddənin dolayı şüalanmasından alınan ionların kinetik enerjiləri  $E_{ion}$  cəminin şüalandırılan maddənin kütləsinə olan nisbətidir

$$K=d E_{ion} / dM$$

СИ vahidlər sistemində qreylə ölçülür.

### **Effektiv ekvivalent doza**

$D_{eff.ekv}$  də zivertlə ölçülür. Bioloji obyektlərə şüalanmanın təsirinin tədqiqi zamanı istifadə olunur və onların xarakteristikasını nəzərə alır. Həqiqətən də şüalanmanın təsirindən kimyəvi əlaqələr pozulur və bu da orqanizmin hüceyrələrinin dağılmasına səbəb olur. Müxtəlif əlaqələrin və hüceyrələrin

dağılması müxtəlif enerji sərfi tələb edir. Məsələn, dəri  $\alpha$ -hissəcikləri buraxmır, lakin daxili hüceyrələr üçün bu hissəciklər sonsuz dərəcədə təhlükəlidir.

Ona görə də hər bir hissəyə düşən effektiv ekvivalent dozanı təyin etmək üçün ekvivalent doza həmin hissəyə aid olan düzəliş əmsalına vurulur. İnsan üçün şüalanmanın effektiv ekvivalent dozasını təyin etmək üçün hər bir orqan üçün ayrılıqda tapılmış effektiv ekvivalent dozaları toplamaq lazımdır.

İnsanların qəbul etdiyi effektiv ekvivalent dozanın əsas hissəsi təbii radiasiya mənbələrinin payına düşür. İnsan onları qida, hava və su ilə qəbul edir.

### **Effektiv kollektiv ekvivalent doza**

$D_{\text{eff.kol.ekv}}$  adam/ zivertlə ölçülür. Tədqiq edilən qrupda hər nəfərə düşən effektiv ekvivalent dozaları toplamaqla alınır.

### **Gözlənilən effektiv kollektiv ekvivalent doza**

$D_{\text{göz.eff.kol.ekv}}$  müəyyən şüalanma mənbəyinin mövcud olduğu müddət ərzində bir neçə nəslin həyatına təsirini proqnozlaşdırmaq üçündür.

## **Təbii şüalanma mənbələri**

Onlar Yerin təbii radioaktivliyinin böyük bir hissəsini müəyyənləşdirirlər. Öz mənşələrinə görə onları aşağıdakı növlərə ayırırlar:

- ilkin kosmik şüalanma
- ikinci dərəcəli kosmik şüalanma
- yer üzündə şüalanma

### **İlkin kosmik şüalanma**

Bu, yüksək  $10^{10}$ - $10^{20}$  eV enerjili yüklü və neytral hissəciklər selidir. O, əsasən protonlar, neytronlar,  $\alpha$ -hissəciklər, elektronlar,  $\gamma$ -şüalar və bəzi elementlərin kiçik miqdarda nüvələrindən ibarətdir.

Yerdən kənar radiasiyanı kosmik fəza – ulduzlar, du-manlıqlar, qara dəliklər, ulduzlararası maddələr yaradır.

Təbii ki, Yerdən kənar radiasiyanın Yer kürəsi üçün ən mühüm mənbəyi Günəşdir.

### **İkinci dərəcəli kosmik şüalanma**

Bildiyimiz kimi şüalanmanın maddəyə təsiri şüalandırılan obyektin xarakteristikasından yüksək dərəcədə asılıdır. On-

lar ilkin kosmik şüalanmada dəyişikliklərə səbəb olur. Yer kürəsinin əsas xarakteristikaları:

- Yer atmosferinin mövcudluğu
- maqnit qütblərinin mövcudluğu
- Yer atmosferinin müxtəlif qalınlığı
- Yer səthinin dəniz səviyyəsindən yuxarı olması

### **Yer atmosferi**

kosmik şüaları Yer qabığından və Dünya okeanından qabaq qəbul edir və onların təsirindən qoruyur. Ona görə də kosmik şüaların Yer səthinə çataraq planetimizi radioaktiv zəhərləməsini düşünmək düzgün deyil.

Kosmik şüalanmanın atmosfer maddəsinə təsiri şüaların və şüalandırılan obyektin xassələrini dəyişdirir.

İki fazanın – kosmik şüalanma və Yer in hava qatı – ayrılma sərhədində yeni xassələr yaranır.

Həqiqətən, Yer atmosferi ilə ilkin kosmik şüalanmanın təsiri sərhədində neytron, elektron və  $\gamma$ -şüalar olmur, çünki onlar atmosferin azot və oksigen atomları ilə reaksiyaya girirlər.

Planetin atmosferi yeni şüalanma mənbəyinə çevrilir. O, ilkin kosmik şüalanmanı ikinci dərəcəli kosmik şüalanmaya çevirir. O da öz növbəsində Yer səthinə çatır və radioaktiv çirklənməyə səbəb olur.

Əgər stratosferdə 25-30 km hündürlükdə hələ ilkin kosmik şüalanma müşahidə olunursa, troposferdə bu məsafə ~10 km-dir və əsasən ikinci dərəcəli kosmik şüalanma müşahidə olunur. Onun enerjisi çox yüksəkdir, lakin ilkin kosmik şüalanmanın enerjisindən kiçikdir.

Beləliklə, Yer atmosferi bir tərəfdən ikinci dərəcəli kosmik şüalanma mənbəyi, digər tərəfdən isə kosmik şüalar üçün ekrandır.

Kosmik şüaların Yer atmosferi atomlarının nüvələri ilə təsirindən nüvə reaksiyaları baş verir. Bu zaman əmələ gələn hissəciklər – radionuklidlər, ikinci dərəcəli protonlar,  $\pi$ -mezonlar,  $k$ -mezonlar yeni nüvə reaksiyalarına girirlər.

Əsas kosmik radionuklidlərə tritium, karbon 14, berillium 7 və natrium 22 aiddir.



Tritium kosmik neytronlarla azot və oksigen nüvəsinin qarşılıqlı təsirindən yaranır. Yarımparçalanma dövrü 12,34 ildir. Tritium radionuklidi tərkibində su olan tritiuma çevrilir və yağıntı şəklində Yer səthinə, Dünya Okeanına və yeraltı sulara düşür. Su dövrəsində iştirakı onun canlı orqanizmlərə düşməsinə səbəb olur. Axarsız yeraltı sulara tritiumun miqdarı yüksəkdir. Deyteriumla birlikdə böyük molekul kütləsinin hesabına əyilmiş, başqa sözlə sinklinal geoloji anbarlarda toplanır. Xalq arasında belə suyu "ölü" su adlandırırdılar, çünki öz radioaktivliyi ucbatından səthi yaraları tez sağaldırdı. Ancaq belə su içmək üçün yararlı deyil. Azərbaycanda bu suyu "qara" su adlandırırlar.

İnsan orqanizmi üçün karbon-14 izotopu da çox vacibdir. O, azot atomlarının çevrilməsi zamanı alınır.

Sonrakı oksidləşmə bu izotopu karbon qazı şəklində biosferə keçirir, ona görə də o, canlı orqanizmlərin tərkibinə daxil olur.

Bu zaman yadda saxlamaq lazımdır ki, karbon-14 uzun-ömürlü radionukliddir. Onun yarımparçalanma dövrü 5730 ildir.

Tritium və karbon-14-lə müqayisədə digər iki izotop az əhəmiyyətlidir. Azömürlü berillium-7 radionuklidinin yarımparçalanma dövrü 53,6 gündür. İnsan orqanizminə tərəvəz və sitəsi ilə düşür. Natrium -22 izotopunun yarımparçalanma dövrü nisbətən çoxdur, 2,62 ildir, lakin canlı təbiətdə çox az yayılmışdır.

### **Yerin maqnit qütbləri**

Kainatdan gələn ilkin kosmik şüalanmanın zərərli hissəciklərini yolundan sapdırır. Ona görə də qütblərdə onların Yerə hücumu ekvatora nisbətən daha yüksəkdir. Yalnız çox böyük enerjili hissəciklər maqnit qütblərinin cazibəsinin öhdəsindən gələrək  $0^{\circ}$  en dairəsinə çatır.

Bu hadisə en dairəsi effekti adlanır. Onun yaranmasına ikinci dərəcəli şüalanma da səbəb olur.

**Yer atmosferinin qalınlığı** ekvatorda ən yüksək qiymətinə çatır və qütblərə yaxınlaşdıqca minimuma düşür. Təbii-  
dir ki, atmosfer qatı qalın olduqca onun ekranlaşdırma qabi-  
liyyəti də artır.

İkinci dərəcəli kosmik şüalanmanın coğrafi en dairəsin-  
dən asılılığı ilkin kosmik şüalanmada olduğu kimidir və en dai-  
rəsi effektinin yaranmasına səbəb olur.

**Yer səthinin dəniz səviyyəsindən yuxarıda yerləş-  
məsi** barometrik effektin yaranmasına səbəb olur. Dəniz sə-  
viyyəsindən olan məsafə artdıqca kosmik şüalanmanın gücü də  
artır.

Yüksək dağlıq rayonların əhalisi düzən sahələrin əhali-  
sinə nisbətən barometrik effektin hesabına daha çox təbii radia-  
siya alırlar. Dəniz səviyyəsində yaşayan əhali 300 mikrozivert  
şüa alırsa, 2000 m hündürlükdə bu doza bir neçə dəfə çoxalır.  
Maksimum şüalanma Yer əhalisinin Everestin ətəklərində ya-  
şayan hissəsinin – şerplərin payına düşür.

Əhəmiyyətli dərəcədə şüalanmaya həmçinin təyyarələ-  
rin ekipajı və səmşinləri məruz qalır. Kontinentlararası avia-

laynerlərin 200000 m uçuş yüksəkliyində şüalanmanın gücü 25 dəfə artır.

Təyyarələrin uçuş sürətinin yüksək olması qəbul edilən şüanın dozasını azaldır. Parisdən Nyu-Yorka uçarkən sərnəşin adi təyyarədə 50 mikrozivert şüa qəbul edir. Bu miqdarı səsü-rətli laynerlərdə uçmaqla 20% azaltmaq olar.

### **Yerdəki şüalanma mənbələri**

Yerdə mövcud olan əsas radiasiya mənbələri:

- dörd radioaktiv sıra izotopları
- atom nömrələri 83-92 olan bütün ağır elementlər
- canlı orqanizmlərin daxili şüalanması

Bu mənbələr üzərində ətraflı dayanaq

### **Dörd radioaktiv sıra izotopları**

•  $Z=4$  n formullu nüvəsi olan torium sırası. Bu sıranın başlanğıcı  $^{232}_{90}\text{Th}$ -dur. Bu sıranın nüvə ədədləri dördə bölünür. Sıra öz adını başlanğıc və stabil izotopdan almışdır.

Onun yarımparçalanma dövrü  $1,39 \cdot 10^{10}$  ildir. Çevrilmənin son məhsulu qurğuşunun sabit izotopudur  $^{207}_{82}\text{Pb}$ . Təbiətdə yayılmasına görə torium radioaktiv elementlər arasında urandan sonra ikinci yerdə durur.

Ən zəngin yataqları Braziliyadadır. Yüksək miqdarı Hindistanda, Fransada, Nigeriyada, İtaliyada, Madaqaskarda və İranda. Azərbaycan torpaqlarında toriumun miqdarı fon (cihazların qeydə ala bildiyi) qiymətindən yüksəkdir.

•  $Z=4n+1$  formullu nüvəsi olan neptunium sırası, başlanğıcı  $^{237}_{93}\text{Np}$ -dur. Bu süni sıranın qalan üç sıradan fərqli olaraq sabit izotu qurğuşun yox, bismut 209-dur.

Bu radioaktiv sıranın kəşf tarixi çox maraqlıdır. Müvafiq sabit başlanğıc elementləri  $^{232}_{90}\text{Th}$ ,  $^{238}_{92}\text{U}$ ,  $^{235}_{92}\text{U}$  olan radioaktiv sıralar çox tez kəşf olundu. Neptunium çox qeyri-sabit olduğu üçün bu sıranın başlanğıcı saxlanılmadı. Onun yarımparçalanma dövrü  $2,25 \cdot 10^5$  ildir. Yer planetinin  $4,5 \cdot 10^9$  illik ömrü zamanı o, 2000 dəfə parçalana bilər. Neptunium süni yolla alınmışdır.

Ona müvafiq olan radioaktivlik sırasının adı Yerdə mövcud başlanğıc elementin ən sabit izotopundan götürülmüşdür.

•  $Z=4n+2$  formullu nüvəsi olan uran sırası. Başlanğıcı  $^{238}_{92}\text{U}$ , yarımparçalanma dövrü  $4,5 \cdot 10^9$  ildir. Təbiətdə olan uranın əsas kütləsinin 99,28%-ni  $^{238}_{92}\text{U}$  təşkil edir. Radioaktiv çevrilmələr nəticəsində qurğuşunun sabit izotopu  $^{206}_{82}\text{Pb}$  alınır.

Sıra ikili ad daşması üçün həm də bu zəncirdə əmələ gələn ən sabit izotop olan radiuma  $^{226}_{88}\text{Ra}$  borcludur. Onun yarımparçalanma dövrü 1590 ildir. Bu sıranın izotopları  $^{210}_{84}\text{Po}$ ,  $^{222}_{86}\text{Rn}$ ,  $^{226}_{88}\text{Ra}$ ,  $^{210}_{82}\text{Pb}$  ən yüksək şüalanma dozası yaradırlar.

•  $Z=4n+3$  formullu nüvəsi olan uran-aktinium sırası. Başlanğıcı  $^{235}_{92}\text{U}$ -dir. Öz adını başlanğıc elementdən başqa, həm də ən sabit izotopundan – aktiniumdan  $^{227}_{89}\text{Ac}$  alır. Aktiniumun yarımparçalanma dövrü 13,5 ildir. Təbii uranın 0,71%-ni  $^{235}_{92}\text{U}$  izotopu təşkil edir. Bu sxem üzrə radioaktiv çevrilmə sabit  $^{207}_{82}\text{Pb}$  izotopunun alınmasına gətirir. Dünyada uran ehtiyatlarının 45%-i keçmiş SSRİ-nin ərazisindədir.

## Atom nömrələri 83-92 olan bütün ağır elementlər

Yükü  $> 83$  olan bütün nüvələr davamsız və radioaktivdir.

Lakin tamamilə davamsız və təbiətdə mövcud olmayan və atom nömrələri  $> 92$  olan elementlərdən fərqli olaraq onlar təbii radiasiya mənbələrinə aiddir.

Nüvələrinin yükü  $< 82$  olan elementlərin radioaktiv izotoplarını şüalanmanın əsas yer mənbələrinə aid etmək çətinidir. Halbuki bu elementlərin əksəriyyətinin nüvələri sabit izotoplardır.

Aşağıdakı yüngül və orta nüvələrin təbii radioaktiv izotopları mövcuddur:  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{87}_{37}\text{Rb}$ ,  $^{115}_{49}\text{In}$ ,  $^{138}_{57}\text{La}$ ,  $^{147}_{62}\text{Sm}$ ,  $^{175}_{71}\text{Lu}$  və  $^{187}_{75}\text{Re}$ . Bu izotopların əksəriyyəti uzun ömürlüdür, məsələn samariumun radioaktiv nüvəsinin yarımparçalanma dövrü  $10^{11}$  ildir.

Kaliumtərkibli birləşmələrin təbiətdə geniş yayıldığını nəzərə alaraq, onların tərkibində qarışıq şəkildə olan və orbital tutma vaxtı yaranan radioaktiv kalium izotopunu  $^{40}_{19}\text{K}$  xüsusi qeyd etmək lazımdır.

Təbiətdə mövcud olmayan digər yüngül radioaktiv elementləri də – texnesium 43 və prometeium 61 – təbii radiasiya mənbəyi hesab etmək olmaz. Ehtimal oluna bilər ki, təsadüfi və ya istiqamətli sintez zamanı onlar radioaktivlik mənbəyinə çevrilərlər.

BMT-nin Atom Radiasiyasının Təsiri üzrə Elmi Komitəsinin (ARTER) məlumatlarına görə bütün təbii radiasiya mənbələri arasında əhalinin şüalanmasında ən çox miqdarı olan radondur ~75%.

Radonun üç izotopu vardır və aşağıda göstərilən radioaktivlik sıralarına müvafiqdir:

-  $^{220}_{86}\text{Rn}$  torium sırasının elementidir, yarımparçalanma dövrü 54,5 san-dir;

-  $^{222}_{86}\text{Rn}$  uran-radium sırasının elementidir, yarımparçalanma dövrü 3,82 gündür;

-  $^{219}_{86}\text{Rn}$  uran-aktinium sırasının elementidir, yarımparçalanma dövrü 3,92 san-dir.

Neptunium sırasında radioaktiv çevrilmələr radon alınmasına gətirmir.  $^{222}_{86}\text{Rn}$  izotopundan fərqli olaraq radonun



qalan izotoplarının öz adları var.  $^{220}_{86}\text{Rn}$  toron Tn,  $^{219}_{86}\text{Rn}$  aktinon An adlanır. Bu üç izotopdan ən mühümü  $^{222}_{86}\text{Rn}$  izotopudur, ona görə də qalan izotopları ümumi olaraq radon kimi öyrəniləcək.

Radonun ətraf mühitə təsirini öyrənməyin vacibliyi çoxdan məlumdur. Radonun zəhərliyi onun radioaktivliyi və uçuculuğu ilə əlaqədardır.

Bu görünməz, dadsız qaz böyük molekul kütləsinə malikdir. Radonun 7,5 dəfə havadan ağır olması onun dərinliklərdə yerləşməsinə səbəb olur. Faydalı qazıntıların yeraltı yataqlarında xeyli miqdarda radona rast gəlinir. Yerin dərinliyindən çıxaraq səthə yayılır. Onun yayılması relyefdən asılıdır. Radon əsasən alçaq yerlərdə, zirzəmilərdə, binaların birinci mərtəbələrində toplanır.

Radioaktiv şüalanma təhlükəsini radon özü yox, onun parçalanma məhsulları yaradır. Radon 222-nin yarımparçalanma dövrü 3,82 gündürsə, onun əmələ gətirdiyi radionuklidlərin yarımparçalanma dövrü: qurğuşun 210 – 22

il, polonium 210 – 138,4 gündür. Radonun digər izotopu 220 isə 54 san yarımparçalanma dövrünə malikdir. Onun parçalanmasından alınan qurğuşun 212-nin yarımparçalanma dövrü 10 saatdır. Radonun parçalanmasından alınan qurğuşun, bismut və polonium radionuklidləri aerosol emələ gətirirlər. Bu aerosollar ağ ciyerdə çökməklə onkoloji xəstəliklərin yaranmasına səbəb olur.



*Maraqlıdır ki, radonun təhlükəli qatılığı olan rayonlarda əhali binaların tikilməsi üçün öz təcrübələri əsasında tarix boyu yoxlanmış memarlıqdan istifadə etmişlər.*

*Məsələn Abşeronda evləri Yerdən hündürdə və zirzəmisiz tikirlər.*

Hazırda binaları radonun nüfuzundan qorumaq üçün əlverişsiz şəraitli ərazilərdə yüksəkmolekullu örtüklərdən istifadə olunması məsləhət görülür. Divar kağızından istifadə edilərkən radonun nüfuz etmə qabiliyyəti 30% azalır.

Ümumdünya Sağlamlığın Mühafizəsi təşkilatının məlumatlarına görə onkoloji xəstəliklərin 70%-nin törənməsinə radon səbəb olur. İnsanların qəbul etdiyi şüaların 40%-i radonun payına düşür. Nüvə sınaqlarından isə yalnız 0,8% şüa qəbul edilir. Qapalı yerlərdə radonun qatılığı açıq havaya nisbətən 8 dəfə çoxdur.

Havası təmizlənməyən, ventilyasiyası pis olan binalarda radon toplanır. Binalarda toplanan radonun 80%-i süxurlardan tikinti materiallarına keçmiş radonun payına düşür. Ən təhlükəsiz tikinti materialı torpaqdan yüksəkdə bitən ağaclardır.

Radonun miqdarı qazıntılardan alınan tikinti materiallarından mərmər və əhəngdaşında ən az, qranit, pemza, giltorpaq və kalsium– silikat şlakında ən çoxdur. Gildən kirəmid, qab-qacaq, soba və s. hazırlayarkən bunu yadda saxlamaq lazımdır. Gil sobalarda hazırlanan qida məhsulları adi sobalarda hazırlanan qidalara nisbətən daha radioaktivdir.

İstifadə edilən tikinti materiallarının radioaktivliyinə nəzarət çox vacibdir. Əvvəllər ekoloqlar istehsalat tullantılarından hazırlanmış tikinti materiallarından istifadəni təqdir edirdilər. Lakin çox tezliklə məlum oldu ki, belə materiallarda radonun miqdarı çox yüksəkdir. İsveçdə hətta dövlət tərəfindən bütöv bir şəhərciyin sökülməsinə qərar verilmişdi, çünki tikinti materiallarının tərkibində təhlükəli olan uran klarkı olduğu aşkar edilmişdi.

Heç bir şübhə olmadan istehsalat tullantılarından hazırlanmış materiallardan istifadəni məhdudlaşdırmaq lazımdır, bunlara aşağıdakılar aiddir:

- fosfogips – fosfor filizinin emalından alınmış tullantı
- qırmızı kərpic – alüminium istehsalının tullantısı
- kül tozu – kömürün yanma məhsulu
- domna şlakı – qara metallurgiyanın tullantıları.

Yaşayış binalarına radon su və qazla da daxil ola bilər. Mənzillərdə qaz yandırılarkən radonun konsentrasiyası sağlamlıq üçün təhlükəli olan həddə çata bilər. Ona görə də ventil-

yasiya sistemi çox yaxşı olmalıdır.

Qazın tərkibində radonun qatılığını azaltmaq üçün onu qabaqcadan təmizləyir və saxlayırlar. Yadda saxlamaq lazımdır ki, artesian quyularında və çox dərin quyularda olan suda radon olur. Belə suyu qaynatmaqla radonu buxarlandırırlar.

### **Canlı orqanizmlərin daxili şüalanması**

Adətən unudurlar ki, tənəffüs zamanı və qida qəbul etdikdə orqanizmə düşən izotoplar daxili şüalanma mənbəyinə çevrilirlər. Ən təhlükəli izotoplar tənəffüs zamanı orqanizmə düşənlərdir. Onlar asanlıqla bütün orqanlarda hərəkət edir və ağ ciyərləri, nəfəs yollarını, limfa düyünlərini, qara ciyəri və s. şüalandırır.

Ən çox şüalanma dozasını sümüklər qəbul edir, çünki sümükdə radioaktiv kalsium 47 və stronsium 89 toplanır. Qalxanvari vəzidə yod 131 yığılır. Kömürün yandırılması zamanı baş verən proseslər böyük təhlükə yaradır. Onun tərkibində olan radionuklidlər qida, hava və su vasitəsi ilə orqanizmə düşərək şüalanma mənbəyinə çevrilir.

Kalium 40 radionuklidi bütün orqanlarda toplanmaq qabiliyyətinə malikdir. O, orqanizmə qidanın tərkibində olan adi kaliumla daxil olur.

Daxili radiasiya uşaqlar üçün daha təhlükəlidir, çünki körpə hüceyrələr radiasiyaya qarşı daha həssasdırlar.

Kişilər qadınlara nisbətən 20% artıq şüa qəbul edirlər. Bədənin kütləsi nə qədər çox olursa, orqanizmdən xaric edilən radioaktiv maddələrin miqdarı bir o qədər az olur ki, bu da daxili şüalanmanın artması üçün əlverişli şəraitdir.

Qida rasionuna düzgün riayət etmək lazımdır. Qatı ət suyundan imtina etmək lazımdır, çünki radionuklidlərin böyük hissəsi heyvanların sümüklərində toplanır.

Radiasiya yüksək olan yaşayış bölgələrində iribuynuzlu mal-qara ətini xırdabuynuzlu heyvan ətini və quş ətini ilə əvəz etmək lazımdır.

Radium izotopları orqanizmə heyvan mənşəli qida məhsullarından yalnız biri ilə- südlə düşə bilər. Lakin radiumun orqanizmə su ilə düşməsi təhlükəsi də çox böyükdür.

Radiumun 80%-i sümüklərdə toplanır. Radiumun orqanizmdə toplanması nəticəsində digər bir təhlükə, onun parçalanmasından alınan məhsulların, ən əsası isə radonun yaratdığı ikinci dərəcəli şüalanmanın meydana çıxmasıdır.

Radon orqanizmdə radiumun parçalanması məhsulu kimi yığıla bilər, lakin o həm də tənəffüs və su ilə orqanizmə düşə bilər. Müəyyən edilmişdir ki, radonun çox miqdarı hüceyrələrin dağılmasına, az miqdarı isə genetik dəyişikliklərə səbəb olur.

Yadda saxlamaq lazımdır ki, dəniz mollyuskaları və balıqlar özlərində qurğuşun 10 və polonium 210 radionuklidlərini toplayırlar. Göbələklərdə və mamırlarda yüksək radioaktivlik olduğuna görə, şimal marallarının ətində böyük miqdarda radionuklidlər qeydə alınmışdır.

Ət yeməyən adamlar bilməlidir ki, tərəvəz məhsulları meyvələrə nisbətən daha çox radioaktivdir, ancaq kökümsov bitkilər onlardan da radioaktivdir. Ən çox radioaktivliyə meyvələrin qabığı, tərəvəz və kökümsov bitkilər malikdir.

## **Texnogen şüa mənbələri**

### **Yanacaq kompleksi**

Radioaktiv təhlükənin yalnız nüvə sənayesi müəssisələri üçün xarakterik olduğunu düşünmək yanlış olardı. Qeyri-radioaktiv faydalı qazıntıların alınması və emalı da radioaktivliyin artmasına səbəb olur. Qazıntı ilə əldə edilən istənilən enerji mənbəyində radionuklidlər vardır. Təbii yanacağın yandırılması ilə ətraf mühitə düşdükdə radiasiya mənbəyinə çevrilir.

Neft, kimya, metallurgiya və dağ-mədən sənayələri radionuklidlərlə çirklənmiş vəziyyətdədir. Məsələn, metallurgiya istehsalında və ya istilik elektrik stansiyalarında yanarkən kömürün tərkibindəki radionuklidlər şlaka və külə keçir.

İnsan həyatı üçün təhlükəli olan radionuklidlərə yalnız bərk tullantılarda rast gəlinmir. İstehsalatın qaz tullantıları da ətraf mühitə böyük zərər vurur. Onlar atmosfərə düşərək çox uzaq məsafələrə yayılır. Radioaktiv izotoplar səthə çökməklə qida məhsullarına qarışırlar. Ona görə də istilik elektrik stan-



siyaları, emal sənaye müəssisələrini tikərkən küləyin istiqaməti mütləq nəzərə alınmalıdır.

Yadda saxlamaq lazımdır ki, əvvəllər faydalı qazıntılar çıxarılan və emal edilən ərazilərdə yaşayış binaları tikmək, yaxud da oradan alınan materialları tikintidə işləmək olmaz.

Ona görə də tikinti materiallarına radioaktiv nəzarət üçün normativ aktları hazırlanmalıdır. Əgər sənaye tullantılarından sement hazırlanarsa, ondan yalnız qazma işlərində istifadə etmək olar, yaşayış binaları tikintisi üçün isə yararsızdır.

### **Nüvə partlayışları**

Radionuklidlərin molekul çəkirlərinə görə nüvə partlayışları özlərindən sonra üç növ radiasiya haləsi qoyurlar.

Birinci halə partlayış ərazisinə yaxınlıqda düşən 12% ağır radionuklidlərdən ibarətdir.

İkinci halə ~10% orta kütləli izotoplardan ibarətdir. Onlar troposferə düşür və küləklə çox böyük məsafələrə yayılır. Bir ay müddətində toplanaraq Yer səthinə düşürlər.

Üçüncü halə ən güclüsüdür, 75% yüngül izotoplardan ibarətdir, stratosferdə yayılır və 3%-i atmosferin yuxarı qatlarına düşür, bütün həcm boyu eyni miqdarda toplanır və aylarla parçalanmadan orada qalır.



*Xirosima və Naqasaki partlayışları bütün planet üçün radioaktiv çirklənmə mənbəyinə çevrilmişdi. Bu məlumatlar çoxdan hamıya məlum idi. Ancaq Semipalatinskə nüvə poliqonunun vəziyyəti haqqında məlumat isə yalnız bu yaxınlarda yayılmışdı. Onun istismarı müddətində Azərbaycanla həmsərhəd olan Qazaxıstanda 456 nüvə və istilik-nüvə partlayışları aparılmışdı, onlardan 116-sı yerüstü partlayışlar idi ki, bu da öz gücünə görə Xirosimada atılmış atom bombasından 2500 dəfə artıq idi.*

Nüvə silahından istifadə yüzlərlə radionuklidin yaranmasına səbəb olur. Onları yüngül və uzunmüddətli parçalanan izotoplara ayırmaq lazımdır. Sonuncular əsas şüalanma mənbəsidir.

bəyidirlər. Onalara karbon 14, seziyum 137, sirkonium 95, stronsium 90 aiddir. Ətraf mühitə radiasiyanın təhlükəli təsiri bu radionuklidlərlə bağlıdır.

İndiyə kimi atmosferdə aparılan 450 nüvə silahı sınağı seziyumun aktivliyini 8,0 MKu, stronsiumunkunu 4,3 MKu-yə çatdırdı. 1 Ku radioaktiv maddənin elə miqdarıdır ki, bu zaman 1san-də  $3,7 \cdot 10^{10}$  atom parçalanır.

### **Atom energetikası**

Yanacaq-energetika kompleksinin inkişafının bu istiqaməti uzun müddət perspektivli sayılırdı. XX əsrin sonlarına yaxın bütün dünyada 500-ə yaxın atom elektrik stansiyası var idi. Fransada tələb olunan enerjinin yarısından çoxunu onlar verirdi. Amerikada istifadə olunan enerjinin 15%-ni 190 atom elektrik stansiyası verir. Həmin bu dövrdə Rusiyada 9 atom elektrik stansiyası var idi.

Son zamanlar bu məsələyə münasibət dəyişdi. Bunun da əsas səbəbi - radioaktiv zəhərlənmə təhlükəsidir, çünki o, nə dövlət, nə də vaxt sərhədi tanıyır. Tam təhlükəsizlik məsə-

ləsi nüvə energetikasına sahib olan 34 ölkədə heç bir sahədə - elmi, texnoloji, sosioloji və siyasi – öz həllini tapmamışdır.

İnsan həyatı üçün təhlükəni ancaq atom elektrik stansiyalarının yaratdığını düşünmək yanlış olardı. Normal iş rejimində radiasiyadan zəhərlənmə riski çox kiçikdir. Necə deyərlər, atom elektrik stansiyası atom energetikası adlı aysberqin yalnız görünən hissəsidir. O, özündə bu mərhələləri cəmləşdirir: nüvə yanacağıının alınması, zənginləşdirilməsi və istehsalı, nəqli, saxlanması, emalı və radioaktiv tullantıların basdırılması. Bu mərhələlər ətraf mühitin radioaktiv zəhərlənməsində böyük təhlükə yaradır.

Yadda saxlamaq lazımdır ki, atom elektrik stansiyalarına yaxın ərazilərin əhalisi şüalanma dozasını qısaömürlü izotoplardan alır. Əhali əsas dozanı – şüalanmanın 90%-ni qəzalardan sonra yüz milyon illər boyu qəbul edəcək. Bu zəhərlənməni heç bir dövlət sərhədi tanımayan uzunömürlü radionuklidlər yaradır.

Nüvə dövlətlərinin qonşuları, yəni Azərbaycan və onun kimi başqa dövlətlər üçün bu problemin həlli vacibdir. Tez-tez

baş verən qəzalar və radioaktiv tullantıların saxlanması problemləri atom energetikasının təhlükəliliyinə inandırıcı sübutdur. Ölkəmiz üçün ən təhlükəlisi ermənilərin atom elektrik stansiyasının radioaktiv tullantılarını Dağlıq Qarabağ ərazisində basdırmaları xəbəridir.

Atom reaktorunun istismarı zamanı baş verən radiasiya-kimyəvi proseslərin üzərində ətraflı dayanmayacağıq, çünki nüvə dövləti olmayan Azərbaycanda bu tətbiqi məsələ dolayı xarakter daşıyır. Burada yalnız adamların texnoloji fəaliyyəti nəticəsində radioaktiv zəhərlənmənin mümkünlüyü məsələsinə baxılacaq. Bu sahədə tədqiqatlar aparılaraq məlumatlar toplanması məsələsi bizim ölkəmizin marağıdır.

### **Atom obyektlərində qəzalar**

Keçmiş SSRİ-də ən məşhur nüvə qəzaları 1957-ci ildə «Mayak» radiokimyə zavodundakı və 1986-cı ildə Çernobil AES-dakı qəzalar idi.

Sonuncu qəza bəşəriyyət tarixində ən böyük texnogen fəlakət idi.

2 km hündürlükdə atmosfərə çoxlu sayda radionuklidlərin atılması (yod, seziüm, stronsium və s.) iki həftədən çox davam etmişdi. Atılma vaxtı və istiqamətini dəyişən güclü külək zəhərlənmiş ərazinin radiusunun artmasına səbəb olmuşdu.

Hazırda aparılan tədqiqatlar seziüm izotoplarını az-az qeydə alırlar, lakin stronsium izotopları mübadilə prosesində fəal iştirak edir ki, bu da onun sonrakı yerdəyişməsinə səbəb olur.

İri qəzaları gizlətmək mümkün deyil. Lakin xırda hadisələri sadəcə olaraq nəzərdən atırlar. Halbuki yalnız 1993-cü ildə Azərbaycanla həmsərhəd olan Rusiyanın atom energetikası müəssisələrində 200 belə böhran halı qeydə alınmışdı.

### **Radioaktiv tullantılar**

Günü-gündən artan radioaktiv tullantılar nüvə energetikasının ən böyük probleminə çevrilmişdir.

Radioaktiv tullantı nədir? Söhbətin yalnız ölümcül təhlükə yaradan yüksək fəallıqlı işlənmiş nüvə toplanlarından getdiyini düşünmək düzgün olmazdı.

Filiz emalı məhsulları, yerdə qalan boş süxur, hər hansı bir mexanizm və alınan əşyalar, qeyri-üzvi və üzvi obyektlər, sualtı və suüstü gəmilər, istehsalat sahəsi və nəqliyyat vasitələri, o cümlədən boru kəmərləri və s. tullantı ola bilər. Radioaktiv tullantıları adilərindən fərqləndirən onların tərkibində normadan artıq miqdarda radionuklidlərin olmasıdır.

İlbəil əmələ gələn tullantıların miqdarı artır. Bu zaman dövlətlər tez-tez bu tullantıların nəinki basdırılması, hətta müvəqqəti saxlanması problemləri ilə də üzləşirlər. 1993-cü ildə Rusiyada hesabdən silinmiş 96 atom sualtı qayığının yalnız 36-dan yanacaq çıxardılmışdı. Qalanlarında isə indiyə qədər aktiv zonalar qalmaqdadır. «Lenin» atom gəmisindən və atom sualtı qayıqlarından çıxarılan atom reaktorları Yeni torpaq arxipelaqının sahillərinə atılmışdır. Rusiyanın hərbi-dəniz donanması hər il dənizə 20 min kub metr maye tullantı axıdır.

Yer kürəsinin ən uzaq guşələrində yaşayan əhəlinin uzunömürlü izotoplardan qəbul etdiyi şüalanma dozası, nüvə energetikası ilə bağlı müəssisələrin yaxınlığında yaşayan əha-

linin qısaömürlü izotoplardan qəbul etdiyi şüalanma dozasından qat-qat artıqdır.

1980-cı ildən atmosferdə nüvə silahı sınaqlarına moratorium elan edilmişdi (sınaqların müddəti uzadılmışdı), lakin indiyə qədər də atmosferin yuxarı qatlarından Yer səthinə radioaktiv toz yağır. Adətən troposferdə radioaktiv tozun ikinci həyatı başlanır, o küləklə böyük məsafələrə yayılır.

Radiasiya itkiləri zamanı Yer kürəsinin əhalisi şüalanmanın 90%-ni qəzadan sonra yüz milyon illər boyu qəbul edəcək. İndi sərf edilən enerji üçün gələcək nəsillər hesab verəcək. Hazırda belə bir məsələ ləngimədən həll olunmalıdır – yəni başqa yanacaq növlərinə nisbətən atom energetikası belə əlverişli və effektivdir?



***Radioaktiv tullantuların klassifikasiyası əvvəllər yalnız dövlətin səlahiyyətində idi. Lakin problemin mühümlüyü 1970-ci ildən başlayaraq onunla artıq başqa təşkilatın – Atom Energetikası üzrə Beynəlxalq Agentliyin (MAFATE) məşğul olmasına səbəb oldu.***



*Aqreqat halından asılı olaraq radioaktiv tullantılar bərk, maye və qaz halında olur.*

*İstehsalatda alınan radionuklidlər yaşama müddətinə görə üç qrupa bölünürlər:*

- qısaömürlü izotoplar, yarımparçalanma dövrü 1 ildir*
- ortaömürlü izotoplar, yarımparçalanma dövrü 1-100 ildir*
- uzunömürlü izotoplar, yarımparçalanma dövrü 100 ildən*

*çoxdur.*

*Xüsusi fəallığına (Ku/kq) görə radioaktiv tullantılar aşağı fəallıqlı, orta fəallıqlı və yüksək fəallıqlı olurlar. Orta fəallıqlı tullantılar ətraf mühitdən 100-300 il müddətinə təcrid olunmalıdırsa, yüksək fəallıqlı tullantılar 1000 ildən yuxarı təcrid olunmalıdır. Bu klassifikasiya bütün aqreqat hallarına aiddir. Lakin burada şüalanma mənbəyinin tipi nəzərə alınır.*

### **Nüvə tullantılarının emalı**

Radioaktiv zəhərlənmə ehtimalı bütün istehsalat tsikli boyu mövcuddur. Problem hasilat və yanacaq istehsalından baş-

lanmış radioaktiv tullantıların emalı və basdırılmasına qədər müddətdə mövcuddur. Həm də ki, tullantının emalı zamanı radioaktiv "quyruq" - iz mütləq qalır.

Emal prosesinin kimyəvi hissəsi ən həlledici və təhlükəli mərhələdir. Məhz buna görə də ABŞ, Kanada və s. ölkələr işlənmiş nüvə yanacağıının emalından imtina etdilər. Lakin 5 ölkədə – Rusiya, Böyük Britaniya, Hindistan, Fransa və Yaponiyada işlənmiş nüvə yanacağıının 10%-i emal edilir. Təbii ki, tullantıların qalan hissəsinin saxlanması üçün müvəqqəti anbarlar lazımdır.

Bu istiqamətdə axtarışlar müxtəlif yollarla aparılır. Hazırda belə bir məlumat yayılmışdır ki, mikroorqanizmlərin köməyi ilə atom tullantılarını təmizləmək mümkündür. Amerikada bu tədqiqatlar üçün 103 milyon dollar ayrılmışdır. Amma belə tədqiqatlara çox ehtiyatla yanaşmaq lazımdır. Mikroorqanizmlərin mutasiyasını (bioloji dəyişikliyə uğramasını) nəzərə almaq lazımdır, yoxsa bəşəriyyət bir problemi həll edərək, digərini əldə etmiş olar.

## **Nüvə tullantılarının nəqli (daşınması)**

Radionuklidlərin daşınmasının mühümlüyünü nəzərə alan AEBA (МАГАТЭ) 1961-ci ildə radioaktiv materialların daşınması üzrə beynəlxalq təhlükəsizlik qaydalarını yaratdı. Aşağıdakı tələblər irəli sürülürdü:

- vaqonların kiçikliyi üzrə
- radioaktiv materialların qablaşdırılması üzrə
- şüalanmanın azaldılması və ona nəzarət üzrə
- artıq istiliyin kənarlaşdırılması üzrə
- radioaktiv izotopların böhran kütləsinin yaranması imkanının istisna edilməsi üzrə
- mənimsəmə və təxribat hallarının qarşısının alınması üzrə
- mümkün ola biləcək qəzaların ləğvi üçün plan yaradılması üzrə.

## **Nüvə tullantılarının anbarları**

Dövlətlərin ən çox qarşılaşdığı problem təkçə tullantıların basdırılması yox, həm də müvəqqəti saxlanmasıdır.

Radioaktiv tullantıların saxlanması – atom energetikasının zəruri texnoloji mərhələsidir. Nüvə tullantılarının emalı və basdırılması onların müvəqqəti saxlanması mərhələsini ha-

zırlamadan mümkün deyil.

Bir də ki, radioaktiv materialın böyük miqdarının bir yerdə toplanması saxlanmanı nüvə tullantıları istehsalı və istismarı prosesinin ən təhlükəli mərhələsinə çevirir.

Atom elektrik stansiyalarının maye radioaktiv tullantılarının saxlanması yerüstü üsulla həyata keçirilir. Onları polad qablarda nitrat turşusunda saxlayırlar. Bunlar üçün hansı tələblər irəli sürülür?

- Bütün anbarda və ayrılıqda hər bir qabda radioaktiv rejimə nəzarət, müntəzəm olaraq müvafiq nümunələr götürülməlidir;

- Radioaktiv çevrilmələr zamanı ayrılan istiliyin kənarlaşdırılması;

- Əmələ gələn qazların və radioaktiv aerozolların kənarlaşdırılması. Hidrogenin radiolizindən əmələ gələn yüksək çıxım partlayışa səbəb olur, partlayışın fleqmatizatoru olan karbon qazının yüksək qatılığı isə partlayış təhlükəsini azaldır. Bu səbəbdən də karbon qazının yüksək qatılığı partlayış təhlükəli hidrogeni seyrəltmək üçün lazım olan havanın sərfini azaldır.

- Anbarlarda və qablarda korroziyaedici maddələrin

olmamasına nəzarət.

- Prosesdə işlədilən üzvi həlledicilərlə birgə radiaktiv tullantılara xlor qarışa bilər. Ona görə də ekstraksiya üçün istifadə edilən üzvi qarışıqların seçilməsinə böyük əhəmiyyət verilir.

- Çöküntülərin əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün mühitin müəyyən turşuluğu saxlanmalıdır. Bu, tullantıların həlledicisi olan nitrat turşusunun konkret qatılığa malik olmasını nəzərdə tutur.

Tullantılarda gedən radiokimyəvi çevrilmələri öyrənmədən qarşıya qoyulan məsələləri həll etmək çox çətin olardı. Hazırda maye tullantıların yerüstü anbarlarda təhlükəsiz saxlanması üçün rejim metodologiyası hazırlanmışdır.

Hazırda Rusiyada toplanmış nüvə tullantılarının ümumi fəallığı 7 milyard Ku-dir və ildən ilə bu miqdar artır.

### **Nüvə tullantılarının basdırılması**

Nüvə tullantılarının elə ləğvi tələb olunur ki, onları sonradan çıxarmaq lazım olmasın. Söhbət çox yüzilliklər boyu etibarlı saxlanmadan gedir.

Bu müddət ərzində ola bilər ki, zəlzələlər baş versin və nəticədə nüvə qəbristanı dağılsın. Qabaqcadan emal olunmuş

nüvə tullantıları dolu polad konteynerlər beton quyularda basdırılır.

Rusiya ərazisində bərk tullantıların və qabaqcadan şüşələşdirilmiş az miqdarda maye tullantıların saxlanması və basdırılması üçün 231 qəbristan yaradılmışdır. Təbii və süni su hövzələrində aşağı və orta fəallıqlı maye tullantıların basdırılması təcrübəsini təhlükəsiz hesab etmək yanlış olardı.

Bu yaxınlarda mətbuatda belə məlumat yayıldı ki, Murmansk vilayətində atom sualtı qayıqlarının aktiv zonasının gövdəsini (korporunu) basdırmaq üçün quru qəbristan yaradılmışdır. Müəlliflərin bildirdiyinə görə bu layihənin əsasını hələ dünya təcrübəsində heç bir bənzəri olmayan orijinal metodika təşkil edir.

### **Tibbdə istifadə olunması**

Radioaktiv materiallardan diaqnostika və müalicə məqsədi ilə çox geniş istifadə olunur. Yadda saxlamaq lazımdır ki, insan ona təsir edən bütün şüalanma növlərinin 30%-ni qəbul edir.

Döş qəfəsinin rentgen tədqiqatı zamanı insanın qəbul etdiyi şüanın miqdarı illik normadan üç dəfə azdır, lakin radioaktiv yağışa düşərkən aldığı dozadan 6 dəfə çoxdur.

Diagnostika və müalicə zamanı yodun, natriumun, fosforun, kobaltın, stronsiumun, kalsiumun, qızılın və s. radioaktiv izotoplarından istifadə olunur.

### **Elmi-tədqiqat işlərində və məişətdə istifadə**

Radioaktiv materiallardan istifadə həmişə təhlükəlidir və bunu yadda saxlamaq lazımdır. Foto, lazer və rentgen qurğularının, kompüter, televizor və ya mikrodalğalı sobalardan istifadə edərkən, onların şüalanma mənbəyi olduğunu nəzərə almaq lazımdır. İşıqlanan mexanizmlə saat alarkən bilmək lazımdır ki, onlardan qəbul olunan şüanın illik miqdarı atom elektrik stansiyalarının işçilərinin və avialayner ekipajının qəbul etdiyi şüa miqdarı ilə ekvivalentdir. Bu, atom elektrik stansiyalarında radiasiya itkisindən yaranan şüalanma dozasından dörd dəfə artıqdır!

Yadda saxlamaq lazımdır ki, sıra nömrəsi 83-dən yuxarı olan elementlərdən hazırlanmış hər hansı bir məmulat radioaktivdir. Məsələn, çox geniş reklam olunan rəngli linzalar toriumdan hazırlandığı üçün göz büllurunun şüalanmasına gətirib çıxarır. Süni dişlərin implantasiyası da, istehsal texnologiyasında uran istifadə olunarsa təhlükəli ola bilər.

## XII FƏSİL

### AZƏRBAYCANDA RADİASIYA ŞƏRAİTİ

#### **Radiasiyanın təbii səviyyəsi**

Müxtəlif səbəblərdən Yer kürəsinin ayrı-ayrı yerlərinin təbii radiasiyası fərqlənir. Canlı orqanizmlərin təkamülündə müvafiq zaman ərzində təbii radiasiya şəraiti dəyişmişdir. Ona görə də hər yaşayış məntəqəsinin sakinləri müvafiq radiasiya fonuna alışırlar. Hər region, ölkə və rayon üçün özünəməxsus təhlükəsiz radiasiya səviyyəsi vardır. Planetimizin əksər ölkələri üçün bu kəmiyyət 0,3-0,6 mZv/il-dir.

Şüalanmanın təbii miqdarından yuxarı qalxması insan orqanizminə mənfi təsir göstərir. Bu haqda məlum olan həqiqətdir ki, yüksək radiasiya fonlu ərazidən aşağı radiasiya miqdarına malik əraziyə köçmək də əhəlinin sağlamlığı üçün təhlükə yaradır. Tədqiqatlar göstərir ki, təbii radiasiyanın çatışmaması orqanizmdə gedən maddələr mübadiləsinə po-



za bilər və bunun da nəticəsində hüceyrələrdə pozğunluq əmələ gələ bilər.

Müdrəklərin dediyi kimi, xəstəni sağaltmaq istəyirsənsə, onu doğulduğu yerə apar. Daha bir misal. Almaniyada köçkünlərin sağlamlığının statistik-tibbi tədqiqi aparılmışdır. Məlum olmuşdur ki, əvvəllər yüksək radiasiya zonasında yaşayan adamlarda onkoloji xəstəliklərin sayı daha çox olur.

AEBA (МАГАТЭ) üzvü olan Azərbaycanda «Radiasiya təhlükəsizliyi haqqında» qanun qəbul olunmuşdur. Ölkəmizdə çoxdan planlı surətdə Azərbaycan ərazisinin radiometrik xəritələşdirilməsi üzrə elmi-tədqiqat işləri aparılır. Bu məsələlərlə bir çox təşkilatlar məşğul olur: AMEA Geologiya İnstitutunun radiometriya qrupu, Bakı şəhər İcra Hakimiyyətinin mənzil-kommunal təsərrüfatı departamentinin «İzotop» kombinatı, Ekoloji proqnozlaşdırma mərkəzi, Fövqəladə hallar və həyat fəaliyyətinin təhlükəsizliyi problemləri üzrə mütəxəssislər birliyinin radiasiya təhlükəsizliyi üzrə mütəxəssisləri, «Xəzər – ümumi evimizdir» layihəsinin iştirakçıları və s.

Tədqiqatlar respublikamızın bütün rayonları üzrə aparılmışdır. Fon miqdarından yüksək radiasiyaya malik ərazi və

torpaqlar aşkar edilmişdir. Rayonların coğrafi mövqeyi və barometrik effektin olması fon miqdarından müəyyən qədər artıqlığını ehtimal edir. Radioaktiv fon orta hesabla təxminən 0,5 mZv/il-dir.

Tikinti materiallarının radioaktivliyinə görə binaların daxilində təbii radiasiya xaricindəkindən çoxdur. Azərbaycan üçün təbii radiasiyanın təhlükəsiz miqdarı 0,4 mZv/il-dir. Bu qiymət binaların tipindən, yerləşdiyi ərazidən asılıdır.

### **Texnogen radiasiya mənbələri**

#### **Neftin hasilatı və nəqli (daşınması)**

İnsanların texnogen fəaliyyəti nəticəsində təbii radioaktiv şərait dəyişir. Yeraltı yataqların işlədilməsi, o cümlədən neftin çıxarılması zamanı radiasiya vəziyyəti pisləşir.

Azərbaycanda neft istehsalı ilə bağlı problemlər xüsusi ilə aktualdır. Ölkəmizin neft ehtiyatı 7 milyard barreldir (1 milyard ton) ki, bu da dünya ehtiyatlarının 0,6%-idir. İlk hesablamalara əsasən Abşeronda 155 min ton torpaq radionuklidlərlə zəhərlənmişdir.

Radiasiya şəraitini yaxşılaşdırmaq üçün iki əsas məsələni həll etmək lazımdır. Birinci məsələ Abşeronun radioekoloji şəraitini tədqiq etmək, ikincisi isə zəhərlənmələri bilavasitə aradan qaldırmaqdan ibarətdir.

Bu məqsədlə 1988-ci ildən Azər. EA Geologiya İnstitutunun radiometriya qrupu Ç.S.Əliyevin rəhbərliyi altında Abşeronun radioekoloji şəraitini tədqiq etməyə başladı. Onların apardığı çəkilişlər əsasında Abşeron yarımadasında  $\gamma$ -şüalanmasının intensivliyi modeli tərtib olundu.

Müəyyən olunmuşdu ki, Azərbaycanın bütün ərazisi ilə müqayisədə Abşeron ən aşağı təbii radiasiya fonuna malikdir. Nəzərə almaq lazımdır ki, respublikamızın təbii radiasiya fonu əhalinin yaşayışı üçün çox əlverişlidir.

Abşeron yarımadasının orta radiasiya səviyyəsi normaya uyğundur - 6 mkR/saatdır. Bəzi ərazilərdə isə (şimalda və Şah qum zolağında) hətta bu qiymətdən də aşağıdır - 3 mkR/saatdır.

Bununla belə radioaktiv çirkləndirici ərazilər də aşkar edilmişdir. Onlar neftin çıxarılması, nəqli və emalı ilə bağlıdır – neft mədəni, boru kəmərləri, nefttoplayıcı məntəqələr. Yod

zavodu sexlərinin ətraf ərazisi də radioaktiv çirkli sahələrə aiddir. Yod neft-mədən sularından alındığı üçün texnologiyaya əsasən buruq suları xüsusi çökdürücülərdə qatılaşıdırılırdı, ona görə də yod zavodu ərazisindəki radioaktivliyi neft hasilatı ilə əlaqələndirmək təbiidir.

Göstərilən texnogen çirklənmə sahələri üçün  $\gamma$ -şüalanmanın çox yüksək dozası, 3000 mkR/saat müəyyənləşdirilmişdir. Bu qeyri-adi qiymətdir, çünki gücü 2800 mkR/saat olan şüalanma sağlamlıq üçün təhlükəlidir.

Abşeronun timsalında neftçixarma sahələrinin radio-nuklidlərlə zəhərlənmə mexanizmini nəzərdən keçirək. «Petroleum» sözünün hərfi tərcüməsi «daş yağı»-dır. XX əsrin əvvəllərində radioaktivliyin kəşfi ilə müəyyən olundu ki, neftli süxurlarda petroleumdan başqa müəyyən miqdarda radioaktiv elementlər də vardır. Abşeronun neftli süxurlarında ana radio-nuklidlər olan uran 238, uran 235, uran 234, torium 232 vardır. Onların parçalanması nəticəsində süxurdan xam neftə keçən törəmə radioaktiv izotoplar əmələ gəlir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, çıxarılan xam neftin xeyli hissəsini mədən suları təşkil edir. Şüalanmanın karbohidrogen və su fraksiyalarına təsiri müxtəlifdir.

Neftin karbohidrogen fraksiyası öz məzmununa görə təbii polimerlərdir. Radiasiya mənbəyinin olması karbohidrogenlərdə radiasiya-kimyəvi polimerləşmə reaksiyalarının getməsinə səbəb olur (IX fəslə bax).

Bunun da nəticəsində təbii radionuklidlərin şüalarını udurlar. Məhz buna görə də radionuklidlərin neft karbohidrogenlərinə və neft yataqlarındakı mədən sularına təsiri müxtəlif olur.

Mədən sularında neftli süxurların ilkin radioaktiv elementlərinin parçalanmasından əmələ gələn radionuklidlər – radium 226 (yarımparçalanma dövrü 1600 il), radium 228 (yarımparçalanma dövrü 1,9 il), radium 224 (yarımparçalanma dövrü 3,7 gün) və radon 222 (yarımparçalanma dövrü 3,84 gün) vardır.

Yeni əmələ gələn radionuklidlərdən başqa neftin nəqli və emalı məhsullarında ana süxurdan qələvi ilə çıxardılmış törəmə izotopların parçalanmasından yaranan yeni izotoplar da iştirak edir. Torium 228 izotopu ana süxurun izotopu kimi yox, ikinci dərəcəli radionuklid olan radiumun 228 radioaktiv parçalanması məhsulu kimi neft-mədən çöküntülərində iştirak edir. Buna görə də çöküntülərdə radiumun 228 miqdarı art-dıqca, toriumun da miqdarı artır.

Abşeronun neft yataqları iki məhsuldar qata uyğun gəlir. Üst qat xlor-kalsium-natriumlu mədən suları ilə xarakterizə olunur, alt qatda isə qələvi hidrokarbonat-natrium suları vardır.

Ana uranın və törəmə radiumun radiasiyasını müəyyənləşdirən əsas radionuklidlərin kimyəvi təbiətinin müxtəlifliyinə görə onların mədən sularındakı paylanması müxtəlif olur.

Mendeleyev dövrü sisteminin II A qrup elementi kimi radium həmin qrupun digər elementləri olan kalsium, stronsium və bariuma analogi olaraq eyni geokimyəvi paylanmaya

malikdir. Deməli yüksəkminerallıqlı kükürdsüz xlor-natrium-kalsiumlu sular da onun qatılığının yüksək olacağını ehtimal etmək olar. Həqiqətən də belə mühitdə radiumun qatılığı onun okean sularındakı klarkından 4000 dəfə artıqdır. Ona görə də bu yataqların mädən suları radiasiya cəhətdən xüsusilə təhlükəlidir.

Bu suların radioaktivliyi atom elektrik stansiyalarının nüvə bloklarının soyudulması üçün işlədilən suya nisbətən qat-qat artıqdır. Atom enerjisi istehsalının tullantı sularının kənarlaşdırılması çox mühüm və vacib prosesdir, mädən suları isə səthdə qalır və ətraf ərazini çirkləndirir. Dünya texnologiyalarına əsasən bu sular neft çıxarıldıqdan sonra yenidən həmin laylara vurulmalıdır.

Mädən sularında radiumu çökdürən sulfat ionlarının miqdarı çox olduqca, radioaktivlik aşağı olacaq.

Aşağıminerallıqlı hidrokarbonat və natrium xloridli sular tərkibində radiumun az miqdarda olması ilə xarakterizə olunurlar.

Ramanada neft layları yüksək radiaktivlikli olmasına baxmayaraq, buradakı lay sularında sulfat ionlarının miqdarı çox olduğu üçün radiuma rast gəlinmir.

Uran süxurların ana radionuklidi kimi bütün mədən sularında iştirak edir. Lakin bəzi hallarda, məsələn, qələvi hidrokarbonat sularında onun qatılığı artır ki, bu da onun Mendeleev dövrü sisteminin VI yarımqrup elementi kimi malik olduğu xassələrdən irəli gələn kimyəvi təbiətinə müvafiqdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, qələvi sularında radiumun yüksək miqdarı onun kimyası ilə deyil, həmin sulara olan uranın parçalanması ilə bağlıdır. «Binəqədinəft» Neft-qaz Çıxarma İdarəsinin nefttoplayıcı məntəqəsində yüksək radium çirklənməsi – 600 mqR/saat – qeydə alınmışdır, halbuki bu neft laylarının qələvi sularında yüksək miqdarda radium ola bilməzdi. Məlum olmuşdur ki, radiumun qeyri-adi olan yüksək miqdarı çökdürücülərdə uzun müddət yığılıb qalmış uranla bağlıdır.



Bütün dünyada neft-mədən rayonları yüksək radiasiya fonu ilə xarakterizə olunur. Ona görə də bu ölkələrdə radiasiyanın buraxıla bilən həddi müəyyən olunmuşdur (NORM). Əgər radiasiyanın miqdarı 25 mkr/saatdan çoxdursa, radioaktiv mühitin pozulmasının səbəbkarları cərimələnirlər. Məsələn ABŞ-ın Luiziana ştatında tətbiq olunan cərimə sistemi bu ərazilərin ekologiyası uğrunda effektiv mübarizə aparmağa imkan verir. Neft şirkətlərini ödədiyi vəsaitlər hesabına radionuklidlərlə çirklənmiş ərazilər təmizlənir.

Neft emalı nəticəsində səthdə radioaktiv radon yayılır. O, həm neftli süxurların radionuklidlərinin parçalanma məhsulu kimi, həm də lay sularında radiumun radioaktiv parçalanmasından törəmə kimi mövcud olur. NORM standartlarına görə radiasiyanın ölçülməsi yer səthindən 1 sm hündürlükdə aparılır, çünki radon atom kütləsinin yüksək olmasına görə yer səthinə yayılmış vəziyyətdə olur.

Abşeron əhalisi neft çıxarılmasında olduğu kimi, onun daşınmasında da radiasiya təhlükəsinə məruz qalır. Mendeleyev dövrü sisteminin IIA qrup elementi olan radium həmin qrupun

digər elementləri ilə birlikdə karbonatlı və sulfatlı sulara çökərək neft kəmərlərində tıxaclar əmələ gətirir.

Bu çöküntülər polad borulardan keçən yüksək enerjili  $\gamma$ -şüaların mənbəyidir. Onları yalnız dozimetrlə aşkar etmək olar. «Suraxanıneft» NQÇİ boru kəmərlərinin bəzi hissələrində şüalanmanın qiyməti 90000 Bk/kq-dır. Yadda saxlamaq lazımdır ki, bərk tullantılarda buraxıla bilən xüsusi aktivlik 10 Bk/kq-dır.

Digər bir radioaktiv izotopun – qurğuşunun 210 əmələ gətirdiyi tıxacı xarici ölçmələrlə təyin etmək olmaz, çünki onun  $\gamma$ -şüaları neft kəməri borularından keçə bilməyən aşağı enerjili şüalardır. Bu çöküntülər təmir işlərində radiasiya zəhərlərini təmizləmək üçün boru kəmərləri açılarkən təhlükə yaradır.

### **Abşeronda yod istehsalı**

Uzun zamanlar Abşeronda neft-mədən sularından yod istehsal olunurdu. Artıq istehsalın dayandırılmasına baxmayaraq, hələ də Ramanı, Sabunçu və Suraxanıdakı lay sularının

çökdürücüləri kimi istifadə olunan böyük ərazilərin zərərsizləşdirilməsi məsələsi həll olunmamışdır.

Həm də zavodun sexlərindən brində hələ də yod istehsalında istifadə olunan və radionuklidlərlə çiklənmiş kömür qalır. Bu kömür qalaqları açıq havadadır. Onun tərkibində olan radionuklidlər, xüsusən də radium küləklə ətrafa yayılır, yağışla yuyularaq yeraltı sulara qarışır və dənizə axır. Kədərli haldır ki, bu zavodun tullantılarından alınmış sement universitet şəhərciyindəki mağazanın radioaktiv zəhərlənməsinin mənbəyi olmuşdu.

### **Neft sənayesi tullantıları**

1966-cı ildə Abşeron yarımadasının radiasiya xəritəsi hazırlanmışdı. Öyrənilən ərazi 4 kateqoriyaya ayrılmışdı. Fon zonalarından və yüksək və alçaq radiasiyalı zonalardan başqa, radionuklidlərlə zəhərlənmiş 160 sahə də diqqəti cəlb edir.

Zəhərlənmə mənbəyini aşkara çıxararaq ləğv etmək üçün bu obyektlərin hər biri ilə işləməyə başladılar. Beləliklə

məlum oldu ki, əksər hallarda əvvəllər qazma işlərində istifadə olunmuş neft kəmərlərinin məişətdə işlənməsi radiasiya mənbəyi yaradır. Belə hallar hətta uşaq müəssisələrinin ərazilərində də müşahidə olunurdu.

Bu neft kəmərlərində radiumun miqdarı bəzən buraxıla bilən normadan 1500 dəfə artıq olurdu. Qazma qurğularının təmiri ilə məşğul olan istehsal sahələrinin də radiasiyası 20-30 dəfə artıqdır.

Neft gölməçələrinin hər biri özlüyündə çox təhlükəlidir, lakin bu çirkli torpaqlardan inşaat materialları hazırlanıqda, yaxud yol tikintisində istifadə edildikdə təhlükə ikiqat artır.

Son zamanlar Azərbaycanın rəsmi dövlət mənbələri bildirlər ki, xarici neft şirkətləri ölkə ərazisinə radioaktiv maddələr daşıyırlar və onlar neft hasilatında istifadə edildikdən sonra lazımi qaydada təcrid olunmurlar.

## **Digər radioaktiv tullantılar**

Radioaktiv zəhərlənmənin başqa növlərindən fərqli olaraq bu növ tullantılar insan faktoru ilə bağlıdır. Təhlükə bu-rasındadır ki, onların tapılmasını proqnozlaşdırmaq mümkün deyil. Onları yalnız planlı və müntəzəm olaraq radiasiyanı ölç-məklə müəyyən etmək olar.

Məsələn, «Qurd qapısı» adlanan ərazidə yolların asfalt örtüyü altında 1988-ci ildə güclü radiasiya mənbəyi aşkar edilib çıxarılmışdır. Ciddi nəzarətin mövcud olduğu sovet dövründə bu mənbəyin bu əraziyə necə düşməsi çox maraqlı idi, çünki onun əsil yeri Narva şəhəri idi.

## ƏDƏBİYYAT

1. Айзенберг, Иуда М., Грайнер, Вальшер. Модели ядер. М.: Атомиздат, 1975, 454с.
2. Айзенбуд, Вигнер. Строение ядра. М.: Изд. Иностранная Литература, 1959, 178с.
3. Акоста В., Кован К., Грем Б. Основы современной физики. М.: Просвещение, 1981.
4. Александр П. Ядерное излучение в жизнь. М: Атомиздат, 255с.
5. Алиев Ч.С., Золотовицкая Т.А., Подопригоренко М.В., Радионуклидное загрязнение окружающей среды при разработке нефтяных месторождений. Баку: // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1996, №7, 46-50с.
6. Баркан А.С. Радиоактивность и ее применение. Минск: Изд. Белоруссии, 1956, 52с.
7. Белоусова И.М., Штуккенберг Ю.М. Естественная радиоактивность. М.: Медицина, 1961, 220с.
8. Беляев С. Манько В. Ранняя вселенная как лабораторный объект.// НГ-Наука , 06 (42), 20 июня 2001 г., [http://science.ng.ru/policy/2000-05-24/1\\_universe.html](http://science.ng.ru/policy/2000-05-24/1_universe.html)
9. Блин-Стойл Р. Фундаментальные взаимодействия и атомное ядро. М.: Мир, 1976, 437с.
10. Большой взрыв руками физиков-ядерщиков: подтверждено получение кварк-глюонной плазмы.// Грани.ru, 17.06.2003, <http://grani.ru/Society/Science/m.35719.html>

11. Войткевич Г.В., Бессонов О.А. Химическая эволюция Земли. М.: Знание, 1973, 168с.
12. Горбатова М. В., Кохен А. Дж., Элиас П.С. Радиационная химия основных компонентов пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1986, С.101-106.
13. Григорьев Ю.Г. Космическая радиобиология. М.: Изд. МГУ.1982, 47с.
14. Дубинин Г., Хвостовой В. В. Радиация и селекция растений. М.: Атомиздат, 1965, 103 с.
15. Заборенко В.Б. Радиоактивность. М.: Гостехиздат, 1958, 80с.
16. Иванов В.С. Радиационная химия полимеров. Л.: Химия, 1988, 320с.
17. Иванов Г.И. Формулы творчества или как научиться изобретать, М.: Просвещение, 1994, 416с.
18. Иванов-Шиц А.К. Концепции современного естествознания. <http://www.limm.mgimo.ru/science/lect5.htm>
19. Канобашвили Е.М. Радиационная химия сульфгидрильных соединений. Тбилиси: Наука, 1979, 153с.
20. Капустинская К.А. Анри Беккерель. М.: Атомиздат, 83 с.
21. Каргин В.А. Радиационная химия полимеров. М.: Наука, 1973, 454с.
22. Карпов В.Л. Радиационная химия полимеров М.: Химия, 1963, 408с.
23. Карпов И.И., Лисневский Ю.И.. Кварки. М.: Наука, 1976., 111с.

24. Ковалевская Л.А. Явление радиоактивности. Иркутск: Наука, 1970, 27с.
25. Кулиев Э. Опасность по-соседству. Баку: // Эхо, 2004, № 63.
26. Кюри М. Радиоактивность. М.: Физматиз, 1960, 516 с.
27. Лауреаты Нобелевской премии. Энциклопедия. М.: Прогресс, 1992, I том, 776 с
28. Лауреаты Нобелевской премии. Энциклопедия. М.: Прогресс, 1992, II том, 862с.
29. Лоутит Дж. Радиоактивность и пища человека. М.: Атомиздат, 1971, 375 с.
30. Мамедова Л.А. Философские основы химии. Баку: Изд. БГУ, 2000, 60с.
31. Машкович ВП, Гусев Н.Г. Защита от ионизирующего излучения. М.: 1980, 461 с.
32. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующих излучений. М.: Медицина, 1991, 368 с.
33. Мурзин А.Н. Введение в радиоактивность. Л.: Изд. Ленинградского университета, 1955, 142с.
34. Неницеску К. Общая химия. М.: Мир, 1968, 816с.
35. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и основные санитарные правила ОСП-72/87, М.: Энергоатомиздат, 1968, 160с.
36. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. М.: Наука 1990, 164с.
37. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Радиолиз газов и жидкостей. М.: Наука, 1986, 439с.



38. Пикаев А.К. и Кабакчи С.А. Радиационная способность первичных продуктов радиоллиза воды. М.: Энергоиздат, 1982, 201 с.
39. Полинг Л. Общая химия. М.: Мир, 846с.
40. Пьянков Г.Н. Радиационная модификация полимерных материалов. Киев: Наука, 1965, 229с.
41. Радиационная безопасность и безопасность отходов в нефтегазовой промышленности, Вена: отчет МАГАТЭ, 2000, 63с.
42. Радиационная биохимия. М.: Атомиздат, 1975, 234 с.
43. Радиационная медицина. М.: Атомиздат, 1971
44. Радиационная химия. М.: Госатомиздат, 1963, 294 с.
45. Радиационная химия мономеров и полимеров. Киев: Наука, 1985, 259с.
46. Радиационная химия углеводородов. М.: Госатомиздат, 1985, 304 с.
47. Радиационное материаловедение. Стекло и керамика. М.: Госатомиздат, 1971, 175 с.
48. Радиационные излучения и методы их исследования. Рига: Изд. АН Латв. ССР, 1961, 142с.
49. Розенталь И. Элементарные частицы и структура Вселенной. М.: Наука, 1984.
50. Рудиев А.В. Радиационная экология. М.: Изд. МГУ, 1990, 188с.
51. Своллоу А. Радиационная химия органических соединений. М.: Химия, 1963, 480с.

52. Середняков С.И. Физика высоких энергий.  
<http://psj.nsu.ru/lector/conspect.php?name=serednyakov>
53. Сиборг Г.Т., Вэлленс Э.Г. Элементы вселенной. М.: Гос. изд. физ-мат. лит., 1966, 258 с.
54. Стивен В., Первые три минуты. Современные взгляды на происхождение вселенной. М.: Энергоиздат, 1981, 208 с.
55. Тимофеев Ф.А. Действие ионизирующих излучений на экосистемы. М.: Изд. МГУ, 1984, 14с.
56. Тихонов А.И. Концепции современного естествознания. Метод. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. - Иваново, 2002, 68с.
57. Трифонов Дм. Н. Радиоактивность вчера, сегодня, завтра. М.: Атомиздат, 1966, 111 с.
58. Учение о радиоактивности. М.: Наука, 1973, 254с.
59. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983, 931с.
60. Фундаментальная структура материи. М.: Мир, 1984, 312 с.
61. Химия твердых тел и полимеров. М.: Наука, 1987, 448с.
62. Хринсанфов С.А., Зубовский Г.А., Смирнов Ю.Н. Заболеваемость лиц, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, по данным Российского межведомственного совета // Радиационная медицина. М.: 1999, С.1-8.
63. Шалоумов Е. Открыто пять новых элементов. //Утро.ру., Выпуск: 177 (1575), 25 июня 2004.  
<http://www.utro.ru/articles/2004/06/25/323000.shtml>

64. Эфендиев Г.Х., Алекперов Р.А., Нуриев А.Н., Вопросы геохимии радиоактивных элементов нефтяных месторождений. Баку: Изд. АН Азерб. ССР, 1964, 150 с.
65. Ядерная энциклопедия. М.: 1996, 616 с.
66. NORM Contamination, Regulations Threaten industry Economy // Petroleum Engineer International, May 1993, p. 36-39
67. Zolotovitskaya T. A., Aliyev Ch. S. Absheron peninsula radioecological symposium. Baku: // Energy, ecology and economy, August 1993, P.70-77
68. Zolotovitskaya T.A., Mechanisms of formation of radionuclide contamination at the oil fields of Azerbaijan //Proceedings of the Second Eurasian Conference "Nuclear Science and its application" – 16-19 September 2002, Almaty: Republic of Kazakhstan, P. 275.
69. Мамедова Л.А., Ильяслы Т.М. Радиационная химия. Баку: Изд-во Элм, 2006, 259 с.

L.Ə.Məmmədova, T.M.İlyası, M.R.Bağiyeva

(Məmmədova Lalə Əlihəsən qızı)

(İlyası Teymur Məhəmməd oğlu)

(Bağiyeva Mələhət Rüstəm qızı)

Kompüter tərtibatı

Ağayeva Rəna Yusif qızı

Korrektorlar

Məmmədova Rəna Tofiq qızı  
Süleymanova Rəya Valeh qızı

---

Çapa imzalanıb 11. 10. 2007- ci il.  
Sayı 500. Həcmi 16,25 çap vərəqi.  
Formatı 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Əla növ kağız.

---

***AzTU – nun mətbəəsi. H. Cavid pr. 25.***

***Tel: (99412) 439-14-52***