

არბიშ ქალანღია

ჩადროქიშიისა და დოზიბეზჩიის საჭუქვლები

(მორაე, ზეხნეზული გაროცემა)



გაროცემლოზა „საგროთა სარართველო“

თ ბ ი ლ ი ს ი — 1974

წიგნში განხილულია რადიოქიმიის, რადიაციული ქიმიის, ნეოთერების აღნაგობის, ატომბირთვული გამოსხივებისა და ურთიერთმოქმედების, ღონისძიების ფიზიკური საფუძვლებისა და სხვა საკითხები.

Калаидия А. А. Основы радиохимии и дозиметрии (второе издание), Издательство «Сабчота Сакарთველო», Тбилиси, 1974 г.

В книге отражены основные вопросы, касающиеся радиохимии, радиационной химии, строения вещества, химии радиоактивных элементов, атомной энергии и атомного оружия, действия ядерных излучений на вещество. физических основ дозиметрии, дозиметрических приборов, подготовки приборов к работе и работы с ними, новейших радиометрических, радиохимических методов, определения радиоактивных веществ в воде, пищевых продуктах, фуражах, биосредах и почве, включая экспресс-методы анализа, абсолютных и относительных методов измерения активности твердых и жидких радиоактивных веществ и ряда других вопросов.

წინასიტყვაობა

უკანასკნელ ხანს სწრაფად ვითარდება რადიოქიმია, რადიაციული ქიმია და დოზიმეტრია. თითქმის არ არის მეცნიერებისა და სახალხო მეურნეობის ისეთი დარგი, რომელშიც ატომბირთვულ ენერჯიას და ნიშანდებულ ატომებს არ იყენებდნენ. ამან საჭირო გახადა ამ დარგებში მომუშავეთათვის სათანადო ლიტერატურის შექმნა ქართულ ენაზე.

წინამდებარე წიგნი მიზნად ისახავს დახმარება გაუწიოს ახალგაზრდა სპეციალისტებს რადიოქიმიის, რადიაციული ქიმიის, რადიომეტრიის, რადიოქიმიური ანალიზის მეთოდებისა და დოზიმეტრიის საფუძვლების შესწავლის საქმეში.

წიგნის შედგენისას ძირითადად დატულია პროგრამაში მოცემული საკითხების თანმიმდევრობა და მოცულობა. დოზიმეტრიული ხელსაწყოების განხილვის დროს განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო მათ აწყობას, მართვის ორგანოების აღწერას და დანიშნულებას, ხელსაწყოების საშუაოდ მომზადებასა და მათთან მუშაობას. სხვადასხვა მიზეზის გამო რადიოსქემები და ზოგიერთი ხელსაწყუს ხელი არ არის მოცემული.

წიგნის მიზანია აგრეთვე ახალგაზრდობას ინტერესი აღუძრას ამ დიდი და მნიშვნელოვანი დარგისადმი.

შ ე ს ა მ ა ლ ი

1896 წელს ფრანგი ფიზიკოსი ანრი ბეკერელის, მარია კიური-სკლოდოვსკაიასა და მისი მეუღლე პიერ კიურის მიერ რადიაქტიური მოვლენის აღმოჩენით დაიწყო ახალი ხანა მეცნიერებაში. რადიაქტივობის აღმოჩენით საბოლოოდ დადასტურდა დიდი რუსი მეცნიერის მ. ვ. ლომონოსოვის მიერ 1741 — 1760 წლებში შემუშავებული ატომურ-მოლეკულური თეორია. ატომისტურ მოძღვრებას ორი ათას ხუთას წელზე მეტ ხანს იცავდნენ გამოჩენილი მეცნიერები, მათს რიცხვში დემოკრიტე, ლომონოსოვი, დალტონი, მენდელეევი და მრავალი სხვა. რადიაქტივობის შესწავლამ მეცნიერებას საშუალება მისცა დაედგინა, რომ ატომი შედგება ატომბირთვისა და ელექტრონული გარსისაგან, რითაც საფუძველი ჩაეყარა ბირთვული ფიზიკის განვითარებას. ამასთან დადასტურდა, რომ ერთი ქიმიური ნივთიერება ატომბირთვული რეაქციის შედეგად შეიძლება მეორე ნივთიერებად გარდაიქმნას, რაც პირველად დაამტკიცა, ჯერ კიდევ 1919 წელს, ინგლისელმა მეცნიერმა რეზერფორდმა. რეზერფორდმა მოახდინა აზოტის ატომბირთვის გარდაქმნა ჟანგბადის ატომბირთვად ალფა-ნაწილაკების მოქმედებით. ეს იყო პირველი ატომბირთვული რეაქცია. 1930 წელს ბეტემ და ბეკერმა ერთ-ერთი მსუბუქი ელემენტის — ბერილიუმის—ალფა-ნაწილაკებით დაყუბმარებისას ახალი ბუნების ელემენტარული ნაწილაკები აღმოაჩინეს. 1932 წელს კი ინგლისელმა ახალგაზრდა მეცნიერმა ჩედვიკმა საბოლოოდ დაადგინა ნეიტრონების წარმოქმნა. 1934 წელი გახდა ხელოვნურ რადიაქტიურ ნივთიერებათა მიღების წელი. პრაქტიკულად ეს განახორციელეს გამოჩენილმა ფრანგმა მეცნიერებმა ფრედერიკ ჟოლიო-კიურიმ და მისმა მეუღლემ ირენ კიურიმ. სწორედ ხელოვნური რადიაქტივობის აღმოჩენა დაედო საფუძვლად ბირთვული ფიზიკისა და ბირთვული ქიმიის შემდგომ განვითარებას, რის შედეგად მიღწეულ

იქნა ატომბირთვული ენერჯის განთავისუფლება. განსაკუთრებული მეცნიერული ტრიუმფით აღინიშნა 1939 წელი, როდესაც გამოჩენილმა ფიზიკოსებმა განმა, შტრასმანმა, ფრედერიკ და ირენ ჟოლიო-კიურებმა გამოარკვეეს, რომ ნეიტრონებით ბომბარდირებისას ურანის ატომბირთვი ორი, დაახლოებით 2-ჯერ უფრო მსუბუქი ელემენტის ატომბირთვებად იხლიჩება. იმავე 1939 წელს საბჭოთა მეცნიერების ფლეროვისა და პეტროუაკის მიერ აღმოჩენილ იქნა ურანის ატომბირთვების თავისთავადი (სპონტანური) გახლეჩის შესაძლებლობა ურანში მყოფი მოხეტიალე თავისუფალი ნეიტრონების ხარჯზე (მოკმედებით). სულ მალე ფრედერიკ ჟოლიო-კიურიმ აღმოაჩინა ატომბირთვის დამშლელი ნაწილაკების (მეორადი ნეიტრონების) გამრავლების მოვლენა, ე. ი. აღმოჩენილ იქნა ჯაქვური ბირთვული რეაქციის განხორციელების შესაძლებლობა. უნდა აღინიშნოს, რომ ატომბირთვული რეაქციების დროს გამოყოფილი ენერჯის რაოდენობა რამდენიმე მილიონჯერ მეტია ჩვეულებრივი ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისას გამოყოფილი ენერჯის რაოდენობაზე.

ატომბირთვული ენერჯია თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის უდიდესი მონაპოვარია. მისი გამოყენებით დაიწყო ახალი ხანა მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებაში, რაც საშუალებას იძლევა რიგი მეცნიერული და ტექნიკური ამოცანების გადააპყრულად, რაც წინათ შეუძლებლად მიაჩნდათ.

რადიოაქტიური იზოტოპები და ბირთვული გამოსხივება სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს როგორც მეცნიერული კვლევის მეთოდი. ამავე დროს ის ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში და სახალხო მეურნეობის სხვა დარგთა გაუმჯობესებისა და წინსვლის საქმეში. ნიშანდებული ატომების მეთოდი გამოიყენება აგრეთვე ბიოლოგიასა და მედიცინაში ორგანიზმის მიერ სხვადასხვა ელემენტის შეწოვის, განაწილების, დაგროვების, გამოყოფისა და ნივთიერებათა ჩანაცვლების შესწავლისათვის. ცოცხალ ორგანიზმში რადიოიზოტოპშეყვანილ საკვებზე, სამკურნალო ნივთიერებებზე, დაავადების გამომწვევ მიკრობებზე, ნერვულ სისტემასთან დაკავშირებულ ქიმიურ პროცესზე, ტვინის ქსოვილის ნივთიერებათა ცვლის სიჩქარესა და სხვათა დაკვირვებისათვისაც გამოიყენება აღნიშნული მეთოდი.

რადიოიზოტოპების გამოყენებით აგრეთვე დაზუსტებულ იქნა ტვინის ქიმიური შემადგენლობა და დადგენილ იქნა, რომ ტვინის შემადგენელი ნივთიერებანი განუწყვეტელ დაშლისა და აღდგენის

პროცესს განიცდის. ასევე განუწყვეტელ დაშლისა და აღდგენის პროცესს განიცდის ორგანიზმის სხვა ორგანოების შემცველი ნივთიერებანი.

იგივე ნიშანდებული ატომების მეთოდის საშუალებით იქნა დადგენილი ქსოვილებში შემავალი ამა თუ იმ ნივთიერების „განაზღვრის“ სიჩქარე, სისხლის სრული წრებრუნვის დროის განსაზღვრა და მისი მემოქცევის საკითხის შესწავლა. გამოირკვა, რომ სისხლის მოძრაობის სიჩქარე დაკავშირებულია ადამიანის ასაკთან. არა ნაკლებ როლს ასრულებს ნიშანდებული ატომების მეთოდი გულის, სისხლძარღვთა, შინაგანი სეკრეციის ჭირკვლების ავთვისებიან სიმსივნეთა გამოკვლევისა და მკურნალობის საქმეში, და მრავალი სხვა საკითხის გამოკვლევაში იგი მეცნიერის ხელში წარმოადგენს საუკეთესო მეთოდს.

რადიოიზოტოპები და გამოსხივება გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში ორგანულ ნივთიერებათა გადანაცვლების სიჩქარეზე ფოთლიდან ფესვისაკენ და პირუტყუ დაკვირვებისათვის, მცენარის მიერ სხვადასხვა შემადგენლობის და სხვადასხვა დროს შეტანილ სასუქებში ნემავალ ნივთიერებათა შეთვისებაზე დაკვირვებისათვის, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს სასუქების შეტანის დროის განსასაზღვრავად. შეტანილი სასუქებისაგან მაქსიმალური ეფექტის მიღების უზრუნველსაყოფად.

დიდია ნიშანდებული ატომების მნიშვნელობა მცენარის სხვადასხვა ნაწილში დაავადებათა გამომწვევი სოკოების გადანაცვლებას გზებისა და მათი ზემოქმედების გამოკვლევის საკითხში; სოფლის მეურნეობის მავნებლების საწინააღმდეგო პრეპარატების მოქმედების მექანიზმზე დაკვირვებისათვის, დასხივებული სათესლე მასალის ეფექტიანობის გამოკვლევისათვის. რადიოიზოტოპებს ფართოდ იყენებენ აგრეთვე მთელი რიგი პრობლემების გადასაწყვეტად ვეტერინარიაში და სხვ.

რადიოიზოტოპები სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს ბრწყინვალეობაში, სახელდობრ მეტალურგიაში გამოიყენება ბრძმედის ცეცხლგამძლე წყობის შინაგანი ნაწილების თანდათანობით ცვეთის (დაშლის) მიმდინარეობის გამოსაკვლევად, რისთვისაც ცეცხლგამძლე ფენებში ათავსებენ რადიქტიურ კობალტს სხვადასხვა სიღრმეზე. საკიროების დროს გარედან ბრძმედის კედლის იმ ადგილის პირდაპირ, სადაც რადიოკობალტის შემცველი ლითონის ნაჭრებია ჩატანებული, შოთავსებენ აირმრიცხველს და კობალტის აქტივობის პერიოდულად გაზომვის საშუალებით არკვევენ ცეცხლგამძლე წყობის შინაგანი ნა-

წილების დაშლის მიმდინარეობას, რადგან თუ ცეცხლგამძლე ავთრების დაშლამ უახლოესი რადიოკობალტის ნაჭრამდე მიაღწია. იგი ღლევა და თუჯის შენადნობს უერთდება, რაც იწვევს ცეცხლგამძლე ფენებში ჩატანებული კობალტის ნაჭრების აქტივობის დაცემას, რომელიც აღირიცხება აირმრიცხველისა და სათანადო რადიომეტრული ხელსაწყოთა საშუალებით. ამ გზით არკვევენ ბრძმელის გაჩერებისა და შეკეთების ჩასატარებლად ყველაზე რაციონალურ დროს. რადიოიზოტოპები გამოიყენება აგრეთვე მარტენის ლუმელში მდნის შერევის პროცესის გამოსაკვლევად, ვაგრანკაში მის ზედა კიდურამდე გამდნარი ლითონის მიღწევის დასადგენად; ამ დროს გამდნარი ლითონი უნდა იქნას გამოშვებული ვაგრანკიდან. ნიშანდებული ატომების მეთოდის გამოყენებაზე არის დამყარებული რადიოაფტოგრაფიის ფართოდ გამოყენება მეტალურგიაში. რადიოაფტოგრაფიის მეთოდი საშუალებას იძლევა თვალყური ვადევნოთ რადიოატომების მიგრაციას შენადნობში და შევისწავლოთ ლითონების ურთიერთდიფუზია და სხვ. ნიშანდებული ატომების, ანუ რადიოაქტიური ინდიკატორების მეთოდს იყენებენ აგრეთვე ლითონსაჭრელი იარაღების გაცვეთის ხარისხის შესამოწმებლად, დიდი მასის მქონე ლითონის დეტალში დეფექტის აღმოსაჩენად — გამადეფექტრომეტრის მეთოდით, ლითონური კონტაქტების წარმოებაში ლითონაწარმის სისქისა და სიმკვრივის გასაზომად, მრავალფეროვანი ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლისა და ავტომატიზაციისათვის.

ასტრონომიაში რადიოაქტივობის მიხედვით შეიძლება მეტეორიტების ხნოვანების დადგენა, არქეოლოგიაში მუშიისა და მატერიალური კულტურის განძების ხნოვანების, ზოლო გეოლოგიაში ქანების ხნოვანების და სასარგებლო წიაღისეულის საძიებლად გამოიყენება და ა. შ.

1954 წლის 27 ივნისს მსოფლიოში პირველი ატომური ელექტროსადგურის ამუშავებით დასაბამი მიეცა ახალ ხანას ენერგეტიკის ისტორიაში.

ამრიგად, ატომბირთვული ენერჯიის გამოყენება მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში, მედიცინასა და ბიოლოგიაში და ა. შ. ტექნიკური და კულტურული პროგრესის უმძლავრეს საშუალებას წარმოადგენს.

ატომბირთვული ენერჯიისა და რადიოიზოტოპების გამოყენების ეს მოკლე მიმოხილვა საკმარისია იმის წარმოსადგენად, თუ რა ბრწყინვალე პერსპექტივები იშლება ატომბირთვული ენერჯიისა და რადიოიზოტოპების გამოყენების მიმართულებით.

აქვე მიზანშეწონილია ჩამოვაყალიბოთ რადიოქიმიის განმარტება. რადიოქიმია არის მეცნიერება რადიაქტიური დაშლის უნარის მქონე ელემენტების თვისებების შესახებ. რადიოქიმია ქიმიის ერთ-ერთი დარგია, რომელიც სწავლობს რადიაქტიურ ელემენტთა და საერთოდ ბირთვულ გარდაქმნათა მოვლენებს, იძლევა რა ამასთანავე რადიაქტიური იზოტოპების მიღების, მათი განცალკევების, გასუფთავების, რადიაქტიურ ნივთიერებათა ქიმიური თვისებების შესწავლისა და მათი გამოყენების მეთოდებს.

ნივთიერების აღნაგობა

1. საკითხის მოკლე ისტორიული მიმოხილვა. გარემომცველი სამყარო შედგება მყარ, თხევად და აირად მდგომარეობაში მყოფ ნივთიერებათაგან. ნივთიერება შედგება უმცირესი ნაწილაკებისაგან — მოლეკულებისაგან. მოლეკულა ეწოდება ნივთიერების უმცირეს ნაწილაკს, რომელსაც შენარჩუნებული აქვს ამ ნივთიერების ქიმიური თვისებები. ერთი და იმავე ნივთიერების მოლეკულები ერთნაირია, ხოლო სხვადასხვა ნივთიერების მოლეკულები განსხვავდებიან შედგენილობით, წონით, სიდიდითა და სხვა თვისებებით.

ნივთიერებათა მოლეკულები შედგება კიდევ უფრო მცირე ნაწილაკებისაგან — ატომებისაგან. ატომები უმცირესი ნაწილაკებია, რომლებაც შეიძლება დაიშალოს ნივთიერებები ქიმიური რეაქციების დროს.

ნივთიერებები იყოფა რთულ და მარტივ ნივთიერებებად.

რთული ნივთიერება ფიზიკური და ქიმიური ხერხებით ყოველთვის შეიძლება დავშალოთ მის შემადგენელ მარტივ ნივთიერებებად. მაგალითად, ვერცხლისწყლის ჟანგი რთულ ნივთიერებას წარმოადგენს: გახურებით იშლება ლითონურ ვერცხლისწყლად და ჟანგბადად. მაშასადამე, ვერცხლისწყლის ჟანგი შედგება ორი მარტივი ნივთიერებისაგან — ვერცხლისწყლისა და ჟანგბადისაგან. ქიმიური მეთოდებით ვერცხლისწყლისა და ჟანგბადს დაშლა შემადგენელ ნაწილებად შეუძლებელია. ქიმიური მეთოდებით შეუძლებელია რომელიმე მათგანის გარდაქმნა სხვა ნივთიერებად, ასევე მათი მიღება სხვა მარტივი ნივთიერებების შეერთებით. ანუ ნივთიერებებს მარტივი ნივთიერებები ეწოდებათ. რთულ ნივთიერებას, ვერცხლისწყლის ჟანგის შემცველ ვერცხლისწყალს და ჟანგბადს არ გააჩნიათ ცალ-ცალკე მარტივი ნივთიერების სახით ყოფნის დროის დამახასიათებელი თვისებები. მაშასადამე

მე, ვერცხლისწყლის ჟანგი შედგება ორი ელემენტისაგან — ვერცხლისწყლისა და ჟანგბადისაგან. ასევე წყალიც რთულ ნივთიერებას წარმოადგენს. წყლის შემადგენლობაში შედიან ელემენტები—წყალბადი და ჟანგბადი, სუფრის მარილის შემადგენლობაში შედიან ელემენტები — ნატრიუმი და ქლორი და ა. შ. მაშასადამე, ატომთა ყოველ ცალკეულ სახეობას, რომელთაგანაც შედგება ნივთიერება, ელემენტი ეწოდება. ქიმიური ნაერთიდან თავისუფალ მდგომარეობაში გამოყოფილი ელემენტი კი წარმოადგენს მარტივ ნივთიერებას. ამრიგად, ნივთიერებებს, რომელთა მოლეკულები შედგება ერთი და იგივე ელემენტის ატომებისაგან, მარტივი ნივთიერებები ეწოდება.

ქიმიურ ელემენტებს მიეკუთვნება ლითიუმი, ნატრიუმი, კალიუმი, სპილენძი, რუბიდიუმი, ვერცხლი, ცეზიუმი, ოქრო და ა. შ. თვითეულ ქიმიურ ელემენტს თავისი გარკვეული სახის ატომი შეესაბამება, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ქიმიური თვისებებით, მასით და სიდიდით, ხოლო ერთი და იგივე ქიმიური ელემენტის ატომები კი ერთნაირია.

ზოგჯერ ერთი და იგივე ელემენტი იძლევა რამდენიმე ალოტროპიულ¹ სახესხვაობას, როგორც, მაგალითად, ალმასი, გრაფიტი და ნახშირი. სამივე ეს მარტივი ნივთიერება შედგება ერთი და იგივე ელემენტისაგან — ნახშირბადისაგან. ყვითელი და წითელი ფოსფორიც ასევე ერთი და იგივე ელემენტისაგან — ფოსფორისაგან შედგება. ერთი და იგივე ელემენტის მიერ რამდენიმე ალოტროპიულ სახესხვაობის წარმოქმნის უნარს ალოტროპია ეწოდება. თვით მარტივ ნივთიერებებს, როგორცაა ალმასი, გრაფიტი, ნახშირი, ყვითელი და წითელი ფოსფორი, ეწოდებათ ელემენტის ალოტროპიული სახესხვაობა. მოლეკულები კი მიიღება ატომების ანუ ელემენტების შეერთებით. ასე, მაგალითად, რკინისა და გოგირდის თითო ატომის შეერთებით მიიღება გოგირდრკინის ერთი მოლეკულა. ლითონი ნატრიუმის და აირად ქლორის თითო ატომის შეერთება იძლევა სუფრის მარილის ერთ მოლეკულას.

ამრიგად, გოგირდრკინისა და სუფრის მარილის მოლეკულები ორ-ორი ატომისაგან შედგება, ზოგიერთ ორგანულ ნაერთთა მოლეკულები კი ასობით და ათასობით ატომს შეიცავს. ამრიგად ნივთიერებებს, რომელთა მოლეკულები სხვადასხვა ელემენტის ატომებისაგან შედგება, რთული ნივთიერებები ეწოდება.

¹ ალოტროპია ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს „სხვა სახე“-ს („ალოს“ — სხვა, „ტროპოს“ — სახე).

რადგან ელემენტების, ანუ ატომების სხვადასხვა რაოდენობით შეერთების კომბინაციები იძლევა სხვადასხვა სახეობის ქიმიურ ნაერთებს (რთულ მოლეკულებს), ცხადია, ბუნებაში რთულ მოლეკულათა რაოდენობა გაცილებით მეტია, მაშინ როდესაც მარტივ ნივთიერებათა ანუ ელემენტთა რაოდენობა განსაზღვრულია. ამჟამად დ. ი. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში უკვე შეტანილია 104 სხვადასხვა ელემენტი. ყველაზე მსუბუქ ელემენტად ითვლება წყალბადის ატომი, ყველაზე მძიმე ატომად ლაურენსიუმი.

2. ატომური წონის განსაზღვრა. ელემენტთა, ანუ ატომთა, ატომური წონის განსაზღვრის მეთოდები დამყარებულია ქიმიურ ნაერთში ელემენტების წონითი ფარდობის გამოკვლევებზე ან აირების სიმკვრივის გაზომვებზე. ატომური წონის განსაზღვრის ზუსტ მეთოდად ითვლება მას-სპექტროგრაფიული მეთოდი.

წინათ ატომური წონის ერთეულად მიღებული იყო ყველაზე მზავი ელემენტი — წყალბადის ატომური წონა.

1860 წლის სექტემბერში კარლსრუეში მოწვეულ ყველა ქვეყნის ქიმიკოსთა ყრილობაზე ჟანგბადის ატომური წონა მიღებულ იქნა 16 ერთეულის ტოლად. 1906 წლიდან ატომური წონის გამომსახველ ერთეულად მიღებულია ჟანგბადის ატომური წონის $\frac{1}{16}$ ნაწილი, ეგრეთ წოდებული საერთაშორისო ჟანგბადერთეული. ყველა დანარჩენი ელემენტის ატომურ წონებს შეფარდებით ერთეულებში გამოსახავენ. ამრიგად, ელემენტის წონას, გამოსახულს ჟანგბადოვან ერთეულში, შეფარდებითი, ანუ ატომური წონა ეწოდება. ჟანგბადერთეულში წყალბადის წონა აღმოჩნდა 1,008 ტოლი, ჰელიუმისა — 4,003, ურანისა — 238,07 და ა. შ.

უნდა აღინიშნოს, რომ აირების სიმკვრივის ან ნაერთში შემავალი ელემენტების წონითი ფარდობის გამოკვლევით მიღებული ატომური წონის განსაზღვრის სიზუსტე არ აღემატება 0,01%-ს, მაშინ როდესაც მას-სპექტროგრაფიული მეთოდით ატომური წონები განისაზღვრება 0,0001%-მდე სიზუსტით. რადიოაქტივობა და იზოტოპები განხილული იქნება ქვემოთ. აქ მხოლოდ აღვნიშნავთ, რომ მას-სპექტროგრაფიული მეთოდით 1927 წელს დადგენილ იქნა ის, რომ ბუნებრივი ჟანგბადი შედგება სამი იზოტოპისაგან: O_8^{16} ატომური წონით 16,0000, პროცენტულად 99,76%, O_8^{17} ატომური წონით 17,0045, პროცენტულად 0,04% და O_8^{18} ატომური წონით 18,00485, პროცენტულად 0,20%. აქედან ჟანგბადის საშუალო ატომური წონა ტოლი იქნება:

$$\frac{16,0000 \cdot 99,76 + 17,0045 \cdot 0,04 + 18,00485 \cdot 0,20}{100} = 16,0044.$$

როგორც ზემოთ აღენიშნეთ, ქიმიური ქანგბადის საშუალო ატომური წონად მიღებულია 16,0000, მაშინ როდესაც იზოტოპური შემადგენლობის მიხედვით ქანგბადის საშუალო ატომური წონა უდრის 16,0044, რომელსაც ატომური წონის ფიზიკური ერთეული ეწოდება. მაშასადამე, არსებობს ატომური წონის ორი სკალა—ქიმიური და ფიზიკური. ქიმიური სკალით გამოსახული ატომური წონა უფრო დაბალია, ვიდრე ფიზიკური სკალით გამოსახული ატომური წონა. ქიმიურიდან ფიზიკურ სკალაზე გადასასვლელად საჭიროა ქიმიური სკალით გამოსახული ატომური წონა გამრავლდეს ამ ორი სკალის გადამყვან

$$\text{კოეფიციენტზე, რომელიც უდრის } \frac{16,0044}{16,0000} = 1,000275.$$

1961 წელს სუფთა გამოყენებითი ფიზიკისა და ქიმიის საერთაშორისო კავშირის გადაწყვეტილებით ნახშირბადის $^{12}\text{C}_6$ იზოტოპის ატომური წონა მიღებულ იქნა ზუსტად 12,00000-ის ტოლად და მისი 1/12 ნაწილი ნახშირბად ერთეულად. ნახშირბად ერთეულის საფუძველზე შედგენილ იქნა ატომური წონის ახალი სკალა. ახალი სკალის მიხედვით ქანგბადის ($^{16}\text{O}_8$) ატომური წონა უდრის 15,994915, ხოლო ყველა სხვა ატომების მასა 0,0318%-ით ნაკლებია, ვიდრე წინათ მიღებული ფიზიკური სკალით გამოსახული ატომური მასები. ხოლო წინანდელი ქიმიური სკალით გამოსახულ ატომურ წონებსა და ახალი—ნახშირბადის სკალით მიღებულ ატომურ წონებს შორის სხვაობა არ აღემატება 0,005%, ასე რომ, პრაქტიკული გაანგარიშებისა და სხვა მიზნებისათვის ძველი ქიმიური სკალით მიღებული ატომური წონები თითქმის უცვლელი რჩება.

როგორც ცნობილია, გრამებით გამოსახულ ელემენტის რაოდენობას, რომელიც რიცხობრივად ამ ელემენტის ატომური წონის ტოლია, გრამ-ატომი ეწოდება. ამრიგად, წყალბადის გრამ-ატომი უდრის 1,008 გ., ჰელიუმისა—4,003 გ, ურანისა—238,07 გ და ა. შ. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ იტალიელი მეცნიერი ავოგადროს აღმოჩენის თანახმად, მოლეკულების რიცხვი ერთ გრამ-მოლეკულაში უდრის $6,02 \cdot 10^{23}$ მოლეკულას და ავოგადროს რიცხვი ეწოდება; იგი აღნიშნება N-ით; ცხადია, გრამ-ატომიც ამდენივე ატომს შეიცავს. რად-

1 გრამებით გამოსახულ ნივთიერების რაოდენობას, რომელიც რიცხობრივად ამ ნივთიერების მოლეკულური წონის ტოლია, ეწოდება გრამ-მოლეკულა, ანუ მოლო.

გან ატომების რიცხვი გრამ-ატომში ყოველთვის უდრის $6,02 \cdot 10^{23}$, ელემენტის გრამ-ატომის გაყოფით ავოგადროს რიცხვზე მივიღებთ მოცემული ელემენტის ერთი ატომის წონას გრამებში. მაშასადამე, ავოგადროს რიცხვს გამოყენებით ადვილად შეგვიძლია გავიანგარიშოთ ატომის აბსოლუტური (ჭეშმარიტი) წონა შემდეგი განტოლების მიხედვით:

$$m = \frac{M}{N},$$

სადაც m არის ატომის აბსოლუტური წონა,

M —ატომური წონა, გამოსახული ჟანგბადოვან ერთეულებში,

N —ავოგადროს რიცხვი ($6,02 \cdot 10^{23}$).

მაგალითად, წყალბადის აბსოლუტური წონა იქნება:

$$m_H = \frac{1,008}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ გ.}$$

ე. ი. წყალბადის აბსოლუტური წონა უდრის

0,000 000 000 000 000 000 000 00167 გრამს,

მძიმე ურანის ატომური წონა კი იქნება:

$$m_U = \frac{238,07}{6,02 \cdot 10^{23}} = 3,95 \cdot 10^{-21} \text{ გ.}$$

ე. ი. ურანის აბსოლუტური წონა უდრის

0,000 000 000 000 000 000 000 00395 გრამს.

როგორც ჩანს, ატომის აბსოლუტური წონა ძალიან მცირეა; ერთი გრამი წყალბადი შეიცავს $6,02 \cdot 10^{23}$ ატომს.

ცხადია, პრაქტიკული მიზნებისათვის ასეთი მცირე წონებით სარგებლობა მოუხერხებელია, რისთვისაც ყოველდღიურ ცხოვრებაში ვიყენებთ შეფარდებით ატომურ წონებს, გამონახატულს ჟანგბადოვან ერთეულში.

ატომი, გარდა იმისა, რომ მისი აბსოლუტური წონა ძალიან მცირეა, სიდიდითაც მეტად პატარა ნაწილაკია, იმდენად პატარა, რომ ერთ სანტიმეტრ მანძილზე მათი ერთ მწკრივში დაწყობით ასი მილიონი ცალი ატომი მოთავსდება. მიუხედავად ამისა, თანამედროვე მეცნიერებამ მრავალი ექსპერიმენტული კვლევა-ძიების შედეგად მანძილზე შეძლო გამოეკვლია მათი აღნაგობა და თვისებები.

ატომის აღნაგობისა და თვისებების თანამედროვე გაგებაზე მეცნიერებამ მეტად რთული და ძნელი გზა განვლო. ასე, მაგალითად, ჯერ კიდევ VI—V საუკუნეებში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე ბერძენმა ფილოსოფოსებმა დემოკრიტემ და ლევკიპმა გამოთქვეს აზრი, რომ ყველა ნივთიერება, როგორც ერთგვაროვანი, ისე არაერთგვაროვანი,

შედგება ცალკეული უმცირესი განუყოფელი ნაწილაკებისაგან — ატომებისაგან, რომელთა შორის არის შორისები. დემოკრიტე წერდა „სინამდვილეა ატომი და ცარიელი სივრცე“. არისტოტელი კი ატომისა და სიცარიელის შესახებ მოძღვრებას არ იზიარებდა, ხოლო პლატონი აღნიშნავდა, რომ ატომები სივრცეში გეომეტრიული კანონზომიერების მიხედვით არიან განლაგებული.

1741—60 წლებში მ. ვ. ლომონოსოვმა შეიმუშავა ატომურ-მოლეკულური თეორია, რომლის მიხედვით ნივთიერება შედგება მეტად მცირე სიდიდის სფერული ნაწილაკებისაგან, რომლებიც განუწყვეტელ მოძრაობაში იმყოფებიან, რომელთა მოძრაობა მექანიკის კანონებს ემორჩილება და სხეულის ტემპერატურა მათი მოძრაობის სისწრაფეზე დამოკიდებული, ლომონოსოვი არჩევდა რა ორგვარ ნაწილაკებს — „ელემენტებს“ და მათგან წარმოქმნილ უფრო მსხვილ „კორპუსკულებს“, პირველმა აღნიშნა, რომ „ელემენტებსა“ და „კორპუსკულებს“ შორის არის არსებითი სხვაობა.

ლომონოსოვის მიერ ხმარებული „ელემენტისა“ და „კორპუსკულის“ ცნებები ატომისა და მოლეკულის თანამედროვე ცნებებს შეესაბამება.

ლომონოსოვმა გამოთქვა დებულება ნივთიერების შემადგენელი უმცირესი ნაწილაკების განუწყვეტელი მოძრაობის შესახებ, ხოლო მატერიისა და მისი მოძრაობის მარადისობის კანონიდან ბუნებრივად გამომდინარეობს ენერჯიის მარადისობა. მოვლენათა შესწავლა გვიჩვენებს, რომ ენერჯია არ ქრება და ახლად არ წარმოიქმნება; ხოლო ერთი სახის ენერჯია შეიძლება გარდაიქმნას სხვა სახის ენერჯიის ექვივალენტურ რაოდენობად. ეს წარმოადგენს ენერჯიის მარადისობისა და გარდაქმნის კანონს, რომლის საფუძველზე გადაწყვეტილ იქნა რიგი მეცნიერულ-პრაქტიკული მნიშვნელობის საკითხები.

1808 წელს დალტონმა საბოლოოდ ჩამოაყალიბა ატომური მოძღვრება ერთ მთლიან ფიზიკურ-ქიმიურ თეორიად. მან აღნიშნა, რომ ნივთიერება შედგება უმცირესი ნაწილაკებისაგან — ატომებისაგან. ატომები ქიმიური რეაქციების დროს არც იშლებიან და არც ახლად წარმოიქმნებიან. დალტონმა პირველმა წამოაყენა საკითხი ატომური წონების განსაზღვრის შესახებ. ელემენტის ატომური წონა დალტონმა უწოდა მოცემული ელემენტის წონის ფარდობას წყალბადის ატომის წონისადმი, რომელიც ერთის ტოლად იქნა მიჩნეული. ამას ნივთიერების ბუნების გარკვევის საკითხში დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა. დალტონის დიდი დამსახურება კიდევ ის არის, რომ მან 1803 წელს აღმოაჩინა ჭერად ფარდობათა კანონი, რის საფუძველზე მოგვცა ზე-

მთ ადნიშნული ატომური წონების განსაზღვრის ხერხი. მაგრამ მიუხედავად მთელი რიგი მონაცემებისა, როგორც დალტონი, ისე მისი მიმდევარი ბერცელიუსი, ატომისტიკას მეტაფიზიკური თვალსაზრისით იხილავდნენ, რამაც დროებით შეაფერხა ქიმიის განვითარება.

1811 წელს ავოგადრომ, აღორძინა რა მოლეკულების არსებობის იდეა, ბრწყინვალედ დაადასტურა ლომონოსოვის ატომურ-მოლეკულური თეორიის სისწორე.

მიუხედავად ამ და მრავალი სხვა ახალი გამოკვლევებისა, ატომურ-მოლეკულური თეორია არ იყო აღიარებული XIX საუკუნის სამოციან წლებამდე. მხოლოდ ჟერარის გამოკვლევის საფუძველზე იქნა აღიარებული ატომურ-მოლეკულური თეორია.

ატომურ-მოლეკულური თეორიის განვითარების საქმეში დიდი წვლილი შეიტანა გამოჩენილმა რუსმა მეცნიერმა ა. მ. ბუტლეროვმა. ვალენტობის ცნების საფუძველზე მან ჯერ კიდევ 1861 წელს პირველმა ჩამოაყალიბა მოძღვრება მოლეკულების ქიმიური აღნაგობის შესახებ. ბუტლეროვის თეორიის თანახმად, ქიმიური ნაერთის თვისებები განპირობებულია არა მარტო მისი მოლეკულის შემცველი ატომებით, არამედ მათი სივრცობრივი განლაგებით და ქიმიური კავშირის ხასიათით. ბუტლეროვის ქიმიური აღნაგობის თეორიის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ყოველი ქიმიური ნაერთის გამოხატვა სტრუქტურული ფორმულით. ბუტლეროვმა 1881 წელს იწინააღმარებტყველა აგრეთვე იზოტოპის არსებობა. იზოტოპი ბერძნული სიტყვაა და ერთსა და იმავე ადგილზე მყოფს ნიშნავს; დიდი რუსი მეცნიერის დ. ი. მენდელეევის ელემენტების პერიოდული სისტემის მიხედვით ერთსა და იმავე უჯრედში მყოფს ნიშნავს. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ისიც, რომ ბუტლეროვმა ჯერ კიდევ 1886 წელს დააყენა ატომის რთული აღნაგობისა და მისი დანაწილების შესაძლებლობის საკითხი. იგი წერდა: ატომები თავისი ბუნებით კი არ არიან განუყოფელი, არამედ ისინი განუყოფელია მხოლოდ ჩვენთვის მისაწვდომი საშუალებებით, რომლებიც მომავალში იქნებიან აღმოჩენილი.

ნივთიერებების აღნაგობის შესწავლაში განსაკუთრებული დამსახურება მიუძღვის დ. ი. მენდელეევს, რომლის მიერ 1869 წელს აღმოჩენილმა ქიმიური ელემენტების პერიოდულობის კანონმა განაპირობა თანამედროვე ქიმიისა და ფიზიკის უდიდესი მიღწევები. დ. ი. მენდელეევმა სწორედ ამ კანონით გადაწყვიტა ისეთი უდიდესი პრობლემა, როგორცაა ატომის მასასა და ელემენტების თვისებებს შორის კავშირი.

ელემენტთა პერიოდული სისტემის საფუძველზე XIX საუკუნეში მეცნიერები დაეუფლნენ ქიმიურად რთულ ნივთიერებათა გარდაქმნის

პროცესების შართვის, ხოლო XX საუკუნეში — ქიმიურ ელემენტთა გარდაქმნის პრობლემაც იქნა გადაწყვეტილი, ისე რომ, ამ კანონის გარეშე ატომბირთვული ენერჯიის გამოყენების პრობლემის გადაწყვეტა თითქმის შეუძლებელი იყო.

როგორც ვხედავთ, XIX და XX საუკუნეთა მიჯნაზე ატომის ცნებამ არსებითი ცვლილება განიცადა და მკვლევარები უკვე აღარ იხილავდნენ ატომს როგორც ნივთიერების დაყოფის ზღვარს.

XIX საუკუნის დამლევს აღმოჩენილ იქნა კათოდური და რენტგენის სხივები, ფოტოელექტრული ეფექტი და რადიოაქტიობა. ეს აღმოჩენები სხვა საკითხების გადაწყვეტასთან ერთად შუქს ჰფენენ ატომის აღნაგობას.

8. ელექტრონების აღმოჩენა. ჯერ კიდევ უძველესი დროიდან იყო ცნობილი, რომ მატყლზე გახახუნებული ქარვა იძენს უნარს თავისკენ მიიზიდოს მსუბუქი საგნები, მაგალითად, ქაღალდის ნაქუწები, ჩალა და სხვ.

ქაღალდის ნაქუწებს იზიდავს შალზე გახახუნებული ლუქიც, ტყავზე ან მატყლზე გახახუნებული კაუჩუკი, აბრეშუმზე. გახახუნებული შინის ღერო და სხვა. ქარვას ბერძნულად ეწოდება ელექტრონი. ამ სიტყვიდან წარმოსდგა სახელწოდება „ელექტრობა“ და მაინც, XIX საუკუნემდე ცოტა რამ იცოდნენ ელექტრონის შესახებ.

ყოველივე ეს ნათლად ლაპარაკობდა იმაზე, რომ ატომი არ წარმოადგენს ნივთიერების უსტრუქტურო და უშმარტივეს ნაწილაკს; მას რთული აღნაგობა აქვს და სხვადასხვა სახის უფრო მცირე ნაწილაკებისაგან შედგება. მისი შემადგენლობა შეიცავს უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებს, და რადგან ნორმალურ მდგომარეობაში ატომი ელექტრონეიტრალურია, ის დადებითად დამუხტულ ნაწილაკებსაც შეიცავს. მაგრამ ატომში ელექტრონების შემცველობის საკითხი მაინც არ იყო გაზიარებული კათოდური სხივების აღმოჩენამდე.

კათოდური სხივების შისაღებად და დაკვირვებისათვის საჭიროა ტუმბოსთან შეერთებული შინის მილი, რომლის ორივე ბოლო შედუღებულია ჰერმეტიკულად და რომელშიც ორივე მხრიდან ჩარჩილულია ელექტროდები.

შინის მილის ელექტროდებს რამდენიმე ასეული ვოლტი ძაბვა; რომ მიეფერთოთ, მაშინ ელექტროდენი მაინც არ გაივლის, რადგან ჩვეულებრივ პირობებში ყოველგვარი აირი და მათ შორის ჰაერიც ელექტრობის ცუდი გამტარია, მაგრამ თუ დავიწყებთ კათოდურ მილიდან ჰაერის გამოტუმბვას, სათანადო გაიშვიათებლის იგი უეცრივ აინ-

თება მომწვანო 'სინათლით', რაც დენის გავლის ნიშანს წარმოადგენს. თუ კათოდურ მილიდან ჰაერს კიდევ გამოვტუმბავთ და წნევას (კათოდურ მილში) დავიყვანთ ვერცხლისწყლის სვეტის 0,01 მილიმეტრამდე და ქვევით, კათოდურ მილში ნათება სრულიად შეწყდება, მიუხედავად იმისა, რომ ჰაერში დენი ისევ გადის, მაგრამ კათოდის მოპირდაპირედ მინის მილის კედელზე მიიღება მომწვანო ნათება.

აღნიშნული მოვლენის გამოკვლევის შედეგად მკვლევარები იმ დასკვნამდე მივიდნენ, რომ მინის მილში უარყოფითი ელექტროდიდან, ე. ი. კათოდიდან, გამოდიან დამუხტული მატერიალური ნაწილაკები, რომლებიც ანოდისაკენ მოძრაობენ და მილის კედელთან მიჯახებისას მომწვანო ნათებას იწვევენ. ამ სხივებს კათოდური სხივები ეწოდება.

კათოდური სხივები განიცდიან გადახრას — იცვლიან თავიანთ მიმართულებას ელექტრულ და მაგნიტურ ველში, ამასთან გადახრის მიმართულება შეესაბამება მოძრავი უარყოფითი მუხტების მიმართულებას (მაგნიტური ველის დროს ისინი გადაიხრებიან სამხრეთ „S“ პოლუსისაკენ, ხოლო ელექტროველის შემთხვევაში კი — დადებითი ელექტროდისაკენ). ეს იმას ნიშნავს, რომ ეს სხივები უარყოფითი მუხტის მქონე ნაწილაკებისაგან შედგებიან.

მრავალი ექსპერიმენტული კვლევა-ძიების საფუძველზე 1897 წელს საბოლოოდ დადგენილ იქნა, რომ კათოდური სხივები ვრცელდებიან სწორხაზოვნად და კათოდისადმი მართობულად. ისინი წარმოადგენენ ელდენის წყაროს, უარყოფით პოლუსთან შეერთებული ლითონური ფირფიტისაგან ამოფრქვეულ ელექტრონების ნაკადს. მათ უწოდეს ელექტრონი და აღინიშნება „e“ ასოთი. ელექტრონის მუხტი უდრის $4,8 \cdot 10^{-10}$ აბსოლუტურ ელექტროსტატიკურ ერთეულს. მუხტის აბსოლუტურ ელექტროსტატიკურ ერთეულად მიღებულია ისეთი მუხტი, რომელიც უჰაერო სივრცეში 1 სმ მანძილზე მოთავსებულ თავის ტოლ მუხტზე მოქმედებს 1 დინის ტოლი ძალით. ელექტრონის მასა კი უდრის 0,00055-ს ქანგბადოვან ერთეულში, ანუ იგი 1837,5-ჯერ უფრო მსუბუქია, ვიდრე წყალბადის ატომბირთვი.

აღსანიშნავია ისიც, რომ კათოდური მილის შიგნით მოთავსებული ფოტოგრაფიული ქაღალდი, მასზე ხილული სინათლის მოქმედების ანალოგიურად, ელექტრონების მოქმედებითაც შავდება. მილის ანოდთან ელექტრონების დაჯახება მინის გახურებას იწვევს, ლითონების ფირფიტებთან დაჯახებისას ლითონებს უარყოფითად მუხტავს, ელექტრონები ადვილად შთაინთქმებიან სხვადასხვა ნივთიერებებით, მათ

1 თუ მილში ნეონია მოთავსებული, კათოდური სხივის გავლისას იგი წითელ ნათებას მოგვცემს, თუ წყალბადია — ცისფერს და ა. შ.

შორის მინითაც, ამიტომ მინის მილის გარეე ელექტრონები არ ვრცელდება.

გარდა ზემოთ განხილული კათოდური სხივებისა, ელექტრონები გამოიტყორცნება აგრეთვე ძალიან გახურებული ლითონების ზედაპირიდან, სინათლის ალაც ელექტრონებს შეიცავს, ულტრაიისფერი სინათლით (საერთოდ მოკლელტალღიანი სხივებით) ლითონების გაშუქებისას მათ სიღრმიდან ელექტრონები ამოიტყორცნება, რაც ცნობილია ფოტოეფექტის სახელწოდებით. ეს მოვლენა პირველად შეამჩნია რუსმა ფიზიკოსმა ა. გ. სტოლეტოვმა. აღნიშნული მოვლენები და სხვა მრავალი ფაქტები ამტკიცებდნენ იმას, რომ ყველა სახის ატომი შეიცავს ელექტრონებს, ხოლო ნორმალურ მდგომარეობაში ატომი ელექტრონეიტრალურია. მაშასადამე, ატომი ტოლი რაოდენობის მოპირდაპირე მუხტთან ნაწილაკებს შეიცავს. ამევე დროს ელექტრონები, რომელი ატომიდან და რა ხერხითაც არ უნდა იყოს მიღებული, ყოველთვის ერთნაირი მასის, ზომისა და მუხტის მქონენი არიან.

ეს ყველაფერი ლაპარაკობდა ატომში ელექტრონების შემცველობაზე, რამაც ვარკვეული სიცხადე შეიტანა ატომის რთული აღნაგობის საკითხის გარკვევაში. ამათან XIX საუკუნის დამლევს ორმა უდიდესმა აღმოჩენამ — რენტგენის სხივებისამ 1895 წელს და რადიოაქტიური გამოსხივებისამ 1896 წელს და ამ სხივების შესწავლამ — ნათელყო ის, რომ ატომი რთული აღნაგობისაა და შედგება უარყოფითად და დადებითად დამუხტული ნაწილაკებისაგან.

ჟ. რენტგენის სხივები. გერმანელი მეცნიერი ვ. კ. რენტგენი კათოდური სხივების ბუნების შესწავლის დროს იყენებდა კათოდურ მილს და რუმკორფის კოქას.

1895 წლის 8 ნოემბერს რენტგენმა მუშაობა გვიან ღამით დაამთავრა. წასვლის წინ მან სინათლე გამორთო, ხოლო მუყაოთი დახურული კათოდური მილის მკვებავი მაღალი ძაბვის დენის გამორთვა კი დაავიწყდა. მან სიბნელეში მაგიდაზე დადებული ბარიუმ-პლატინაციანიდის კრისტალის მომწვანო ნათება შეამჩნია. როდესაც რენტგენმა მუყაოთი დახურულ კათოდურ მილში გამავალი დენი გამორთო, ბარიუმ-პლატინაციანიდის კრისტალის ნათება იმ წუთშივე შეწყდა. რენტგენმა ხელახლა ჩართო კათოდური მილის მკვებავი მაღალძაბვის დენი, კათოდურ მილში დენის ჩართვისთანავე კრისტალის ნათება ისევ განახლდა. ამ მოვლენის გამოსარკვევად რენტგენმა კათოდური მილი გამორთო, ხოლო რუმკორფის კოქა ლითონის ბურთულებს მიუერთა. დენის ჩართვის დროს ლითონის ბურთულებს შორის ნაპერწკლებმა გაიჩინა, მაგრამ ბარიუმ-პლატინაციანიდის კრისტალები არ

ანათებდა; მაშინ მან რუმეორფის კოქა ხელახლა მიუერთა კათოდურ მილს და დენი ჩართო. ამ დროს ბარიუმ-პლატინაციაანიდის კრისტალებმა განაახლა ნათება. რენტგენისათვის ცნობილი იყო ის, რომ ბარიუმ-პლატინაციაანიდის კრისტალები წინასწარ მზის სინათლით გაშუქების შემდეგ ანათებს. რადგან ოთახში, სადაც ცდა მიმდინარეობდა, სიბნელე იყო, ხოლო კათოდური მილი კი შუქგაუმტარ მუყაოთი იყო შემოხვეული და მილიდან ხილული სინათლე არ გამოდიოდა, ამიტომ მკვლევარი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ ბარიუმ-პლატინაციაანიდის კრისტალების ნათება გამოწვეული იყო მუშაობაში მყოფი კათოდური მილიდან გამოსული რაღაც უხილავი სხივების მოქმედებით, რომელსაც უნარი აქვს მინიდან და მუყაოდან გააღწიოს და იმოქმედოს ბარიუმ-პლატინაციაანიდზე.

შემდეგი ცდების დროს რენტგენმა ეკრანად გამოიყენა ბარიუმ-პლატინაციაანიდის ფენით დაფარული მუყაოს ფურცელი. დენჩართულ კათოდურ მილსა და ეკრანს შორის მან სქელი წიგნი მოათავსა. ეკრანი მაინც ანათებდა. ამ ცლით დაასკვნა ის, რომ ახალი სხივები მილის მიწაში, მასზე შემოხვეულ მუყაოში და სქელ წიგნშიაც ატანს. მან გამოიკვლია სხვადასხვა ლითონების თხელ ფირფიტებში ამ ახალი სხივების შეღწევალობის უნარი და დაადგინა, რომ ეს ახალი სხივები ერთი და იმავე სისქის მქონე სხვადასხვა ლითონების ფირფიტებში სხვადასხვანაირად შეაღწევენ.

რენტგენის მიერ ამ ახალი სხივების აღმოჩენამდე ამერიკელ მეცნიერს ლენარდის შემჩნეული ჰქონდა, რომ კათოდური მილის მუშაობის დროს იმავე ოთახში ხის ყუთში შენახული ფოტოფირფიტების შენახვაც კი არ შეიძლებოდა, რადგან ის შავდებოდა (ფუჭდებოდა). ამის მიზეზი რენტგენის მიერ ახალი სხივების აღმოჩენის შემდეგ გახდა ნათელი.

რენტგენმა გამოიკვია მის მიერ აღმოჩენილი ახალი სხივების ფოტოფირფიტაზე მოქმედება და მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ეს ახალი სხივები ფოტოფირფიტების გრძნობიერ შრეზე მოქმედებს ხილული სინათლის მსგავსად, ე. ი. ფოტოფირფიტების შუქგრძნობიერი შრის (ფენის) ფოტოქიმიური რეაქციის შედეგად ფოტოფირფიტის გაშავებას იწვევს.

მკვლევარმა ამ ახალი სხივების ფოტოქიმიური უნარის გამოკვლევის მიზნით კათოდური მილის ქვემოთ მოათავსა ფოტოფირფიტაანი იხის კასეტა და კათოდურ მილსა და ფოტოფირფიტაანი ხის კასეტას შორის კი თავისი ხელი შეყო. გამომქლავებულ ფოტოფირფიტაში თავისი ხელის ძვლების გამოხატულება მიიღო. აქედან დაასკვნა, რომ ეს

სხივები თავისუფლად გადიან მინაში, ხეში, მუყაოში, კანში, კუნთებში, მაგრამ ძვლებში კი ვერ ატანენ. ამიტომ აღიბეჭდა ძვლების ჩრდილი ფოტოფირფიტაზე. მრავალი ცდის ჩატარების შემდეგ რენტგენი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ შან აღმოაჩინა მანამდე უცნობი ახალი სხივები, რომელთა ბუნება ძნელი გასარკვევე იყო. ამიტომ ამ სხივებს რენტგენმა იქსი სხივები (X-სხივები), ე. ი. უცნობი სხივები უწოდა.

1896 წლის 23 იანვარს ფიზიკო-მედიცინის საზოგადოების სხდომაზე იქს სხივებს მისი აღმომჩენის პატივსაცემად რენტგენის სხივები ეწოდა.

რენტგენის სხივების წყაროდ შეიძლება გამოყენებულ იქნას ყოველგვარი ლითონი, რომელზედაც მოქმედებს კათოდური სხივები. უფრო ხშირად ანოდად — დამცემ ეკრანად პლატინას იყენებენ, რადგან პლატინა კათოდური სხივების მოქმედებისას ძლიერ ინტენსიური რენტგენის სხივებს ასხივებს. კათოდს კი წარმოადგენს კათოდის მილში გატარებული ორი ძნელდნობადი ვოლფრამის შავთული, რომელიც სპირალით მთავრდება.

როგორც კათოდური სხივების, ისე საზოგადოდ დიდი სიჩქარის მქონე ელექტრონების სწრაფად დამუხრუჭების შედეგად წარმოიქმნება მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღები, რომლებიც გარემომცველ ჰივრცეში ელექტრომაგნიტური იმპულსების სახით ვრცელდება. გარდა ამისა, სწრაფი ელექტრონები აღწევენ ატომებს შიგნით და იწვევენ შიგაელექტრონების ამოტყორცნას, რაც აკრთევე მოკლე სიგრძის ელექტრომაგნიტურ ტალღას — რენტგენის სხივებს წარმოშობს. რენტგენის სხივების შესწავლისას გამოირკვა, რომ იგი ორგვარ — თეთრ და დამახასიათებელ გამოსხივებას იძლევა, რადგან ელექტრონების სისწრაფე დამოკიდებულია ანოდურ ძაბვაზე. შედარებით დაბალი ძაბვის დროს ელექტრონების სისწრაფეც შედარებით ნაკლებია, იგი ატომის შიგნით ვერ აღწევს და მიიღება რენტგენის თეთრი გამოსხივება, რომელიც განპირობებულია მხოლოდ აჩქარებული ელექტრონთა დამუხრუჭებით ანოდის ზედაპირზე დაჯახების დროს.

თეთრი სპექტრის ტალღის სიგრძე იცვლება რენტგენის მილაკზე მოდებულ ძაბვის მიხედვით, წარმოადგენს რენტგენის მილაკის გამოსხივების უწყვეტ სპექტრს, რომელიც სხვადასხვა სიგრძის ტალღებისაგან შედგება. ასეთ გამოსხივებას თეთრი გამოსხივება ეწოდება.

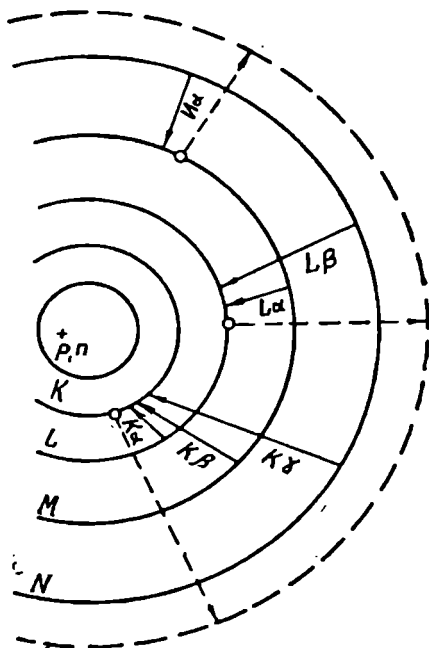
დამახასიათებელი გამოსხივებისათვის საჭიროა მაღალი ანოდური ძაბვა; მაღალი ანოდური ძაბვის დროს რენტგენის მილაკის კათოდის ამოფრქვეული ელექტრონების ენერგია დიდია და საკმარისია ანოდის ნივთიერების ატომის შიგა ელექტრონების ამოსატყორცნად.

ატომის შიგა ელექტრონების ამოტყორცნისას წარმოიშვება გარკვეული სიგრძის ელექტრომაგნიტური ტალღები, რომლებიც დამოკიდებულია იმ ელემენტზე, რომელიც მას ასხივებს; ამიტომ მას დამახასიათებელი გამოსხივება ეწოდება.

მოცემული ანოდის შემთხვევაში დამახასიათებელი ტალღების სიგრძე დამოკიდებულია ელექტრონის ამოტყორცნის სიღრმეზე (იხ. ნახ. 1). როგორც ნახაზიდან ჩანს, თუ ატომის K შრედან მოხდა ელექტრონის ამოტყორცნა, მაშინ ატომის K შრეზე მანამდე მყოფი ორი ელექტრონიდან დარჩება ერთი ელექტრონი, განთავისუფლებული ადგილი შეივსება L, M ან N შრედან ელექტრონის გადასვლით. თუ L შრედან ელექტრონი გადავა K-ზე, გამოსხივდება $K\alpha$ ხაზი; თუ M შრედან

ელექტრონი გადავა K-ზე, გამოსხივდება $K\beta$ ხაზი და თუ N შრედან ელექტრონი გადავა K-ზე, გამოსხივდება $K\gamma$ ხაზი.

თუ ატომის L შრედან მოხდა ელექტრონის ამოტყორცნა, მაშინ ატომის აგზნებულ მდგომარეობიდან ნორჩალურ მდგომარეობაში გადასვლისას ელექტრონები ზემოდან ქვემოთ დაეშვებიან L შრეზე. მაგალითად, თუ M შრედან ელექტრონი გადავა L-ზე, გამოსხივდება $L\alpha$ ხაზი; თუ N შრედან ელექტრონი გადავა L-ზე, გამოსხივდება $L\beta$ ხაზი და თუ ატომის M შრედან მოხდა ელექტრონის ამოტყორცნა, მაშინ კი N შრედან ელექტრონი გადავა M-ზე და გამოსხივდება $M\alpha$ ხაზი.



ნახ. 1. რენტგენის სპექტრის წარმოქმნის სქემა.

ელექტრონების ასეთი გადასვლები იწვევენ დამახასიათებელი სპექტრის აღძვრას.

რენტგენის სპექტრის ხაზები შედგება: K, L, M და N სერიისაგან (ნახ. 1).

გამოსხივებას მით უფრო მეტი ენერგია აქვს და, მაშასადამე, მით უფრო მეტად ხისტია, რაც უფრო მეტია ენერგეტულ დონეთა სხვაობა იმ ელექტრონებში, რომელთა შორის წარმოებს გადასვლა. მაშასადამე, მოცემული ნივთიერების შემთხვევაში ერთსა და იმავე სერიებში α ხაზი მეტად ხისტია, ვიდრე β ხაზი. სხვადასხვა სერიის დროს K სერია მეტად ხისტია, ვიდრე L სერია და ა. შ.

ანტიკათოდად სხვადასხვა ელემენტის გამოყენების შემთხვევაში ერთი და იგივე სერიიდან ისაა უფრო ხისტი, რომლის რიგითი ნომერი (Z) მეტია. მაგალითად, ანტიკათოდად პლატინის გამოყენების შემთხვევაში პლატინის ატომის K შრედან გამოსხივებული ტალღის სიგრძე $\lambda K = 0,158 \text{ \AA}$, ხოლო რკინის K შრედან გამოსხივებული ტალღის სიგრძე $\lambda K = 1,739 \text{ \AA}$, ე. ი. პლატინის K შრედან მიღებული ტალღის სიგრძე 11-ჯერ ნაკლებია რკინის შესაბამისი შრედან მიღებული ტალღის სიგრძესთან შედარებით.

აქედან ნათელია, რომ პლატინის ანტიკათოდიდან გამოსხივებული რენტგენის დამახასიათებელი გამოსხივება უფრო ხისტია, ვიდრე რკინის ანტიკათოდიდან გამოსხივებული შესაბამისი დამახასიათებელი გამოსხივება, იმიტომ რომ გამოსხივების ენერგია მით უფრო მეტია, რაც უფრო ნაკლებია გამოსხივების ტალღის სიგრძე, ანუ რაც უფრო მეტია რხევის სიხშირე. მაშასადამე, დამახასიათებელი ტალღის სიგრძე დამოკიდებულია აგრეთვე იმ ელემენტზე, რომლისგანაც არის გაკეთებული ანოდი.

საერთოდ კი რენტგენის სხივების ტალღის სიგრძე $15 - 0,03 \text{ \AA}$ დიაპაზონში მდებარეობს (\AA —ანგსტრემი სიგრძის საზომი ერთეულია და უდრის სანტიმეტრის მეთასმელონედ ნაწილს 10^{-8} სმ).

რენტგენის სხივებმა დიდი გამოყენება ჰპოვა მედიცინაში, ტექნიკაში, ფიზიკაში, ქიმიაში და ბევრ სხვა დარგში.

ჩვენ გვაინტერესებს რენტგენის სხივების როლი ატომის აღნაგობის გარკვევის საქმეში და აქ მხოლოდ ამასთან დაკავშირებულ საკითხებს განვიხილავთ.

რენტგენის სხივები აირში და ჰაერში დიდი შეღწევადობის უნარს იჩენენ, იწვევენ მისი ატომებისაგან ან მოლეკულებისაგან ელექტრონების ამოტყორცნას, რის შედეგად ელექტრონიტრალური მოლეკულებიდან ან ატომებიდან მიიღება დადებითი იონები. ხოლო მოლეკულიდან ან ატომიდან ამოტყორცნილი ელექტრონები, უერთდებიან რა სხვა ნეიტრალურ მოლეკულებს ან ატომებს, წარმოქმნიან უარყოფით იონებს. დამუხტულ ატომებს (ან ატომთა ჯგუფს) იონები ეწოდება,

ხოლო მოლექულიდან ან ატომიდან იონისა და ელექტრონის წარმოქმნას კი იონიზაცია (დაიონება).

ნეიტრალური ატომებიდან იონების წარმოქმნა ატომებში ელექტრონების შემცველობის კიდევ ერთ დამადასტურებელ ფაქტს წარმოადგენს. გარდა ამისა, ნეიტრალური ატომებიდან დადებითი და უარყოფითი იონების წარმოქმნა არა მარტო ატომებში ელექტრონების შემცველობის დამადასტურებელია, არამედ კიდევ იმისა, რომ ატომები შეიცავენ დადებით მუხტებსაც.

ამრიგად, რენტგენის სხივების აღმოჩენამ დიდი როლი შეასრულა ატომის აღნაგობის გამოკვლევის საქმეში.

რ ა დ ი ა ქ ტ ი ვ მ ბ ა

1. რადიაქტივობის აღმოჩენა. კათოდური და რენტგენის სხივების აღმოჩენის შემდეგ ატომის რთული აღნაგობის გარკვევაში უდიდესი როლი შეასრულა რადიაქტივობის აღმოჩენამ.

1896 წელს ფრანგი ფიზიკოსი ანრი ბეკერელი, სწავლობდა რა ნივთიერებათა ფლუორესცენციის (ფოსფორესცენციის)¹ თვისებებს, შეამჩნია, რომ ურანის ნაერთები მზის სინათლით წინასწარ მოუსხივებლად თავისთავად ასხივებენ მანამდე უცნობი თვისებების მქონე უჩინარ სხივებს, რომლებიც რენტგენის სხივების მსგავსად, როგორც გამჭვირვალე, ისე არაგამჭვირვალე სხეულებში (მინაში, ჰაერში, მუყაოში, ლითონებში, ცოცხალ ორგანიზმში და ა. შ.) შეღწევადობის უნარს იჩენენ. ანრი ბეკერელის მიერ აღმოჩენილი სხივები ფარემოცველი ჰაერის იონიზაციას იწვევს და ამის გამო ჩვეულებრივ პირობებში ელექტროდენის გაუმტარი ჰაერი ელექტროდენის კარგი გამტარი ხდება. ურანის გამოსხივება რენტგენის სხივების მსგავსად მოქმედებს ჩვეულებრივ სინათლის სხივებისაგან დაცულ, შავ ქაღალდში გახვეულ ფოტოფირფიტაზე იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ურანის მარტივი რამდენიმე თვის განმავლობაში შენახულია სიბნელეში.

ურანის ამ თვისებებით დაინტერესდნენ მარია კიური-სკლოდოვსკაია და მისი მეუღლე პიერ კიური. შეუდგნენ რა ამ მოვლენის შესწავლას, მათ და ვ. შმიდტმა ერთსა და იმავე დროს (1899 წელს) დაადგინეს, რომ ასეთსავე თვისებას იჩენს თორიუმიც (Th), რომლის რიგობრივი ნომერი, ანუ ატომური ნომერი, ელემენტების პერიოდული სის-

¹ წინასწარ მზის სინათლით მოსხივებული ზოგიერთი ნივთიერების სიბნელეში ნათების მოვლენას ფლუორესცენცია, ანუ ფოსფორესცენცია; ეწოდება. ფოსფორესცენცია ნიშნავს სხეულთა ისეთ ნათებას, რომელიც არ არის დაკავშირებული მათ გახურებასთან.

ტემის მიხედვით 90-ია ხოლო მასის რიცხვი—232; მასის რიცხვი ეწოდება ატომური წონის უახლოეს მთელ რიცხვს. ურანის მადნის შესწავლისას მ. კიურიმ შენიშნა, რომ ურანის მადნები გაცილებით უფრო ინტენსიურ გამოსხივებას იძლევიან, ვიდრე მისი სუფთა მარილები. აქედან ცხადი იყო, რომ ძლიერი ინტენსიური გამოსხივების მატარებელი იყო არა თვით ურანი, არამედ ურანის მადანში შემაველი რაღაც სხვა ელემენტი. ამ მოვლენის შესწავლის შედეგად 1898 წელს მარია და პიერ კიურიმ შეძლეს ურანის მადნიდან გამოეყოთ ორი მანამდე უცნობი ელემენტი, ერთ-ერთ ახალ ელემენტს მარია კიურის პატივსაცემად პოლონიუმი (Po) ეწოდა, რომლის ატომური ნომერია 84, ხოლო მასის რიცხვი — 210. მეორე ელემენტს კი რადიუმი (Ra) უწოდეს, რაც სხივოსნურს ნიშნავს.

რადიუმის ატომური ნომერი უდრის 88, ხოლო მასის რიცხვი — 226.

მარია კიური-სკლოდოვსკაიამ და პიერ კიურიმ ეს ორი ელემენტი გამოყვეს ავსტრიიდან მიღებულ ერთ ვაგონ ურანის მადნიდან: ხსნიდნენ მას მჟავებში, ხსნარებს აორთქლებდნენ, იქიდან კრისტალებს ლექავდნენ, ფილტრავდნენ და ხელახლა ხსნიდნენ და ლექავდნენ, რათა ეს ორი ელემენტი — პოლონიუმი და რადიუმი დაეცილებინათ ტყვიას, სპილენძის, დარიშხანის, ბისმუტისა და სხვა თანმზლები ელემენტებისაგან. ორი წლის დაუღალავი მუშაობის შედეგად მათ მიაღწიეს ერთი ტონა ურანის მადნის ჯადამუშაოების შედეგად მიეღოთ სამი მეთადი გრამი სხივოსანი რადიუმი — ელემენტი, რომელსაც ძლიერი გამოსხივება ახასიათებს.

გამოკვლევით დადასტურდა, რომ რადიუმი 5 მილიონჯერ უფრო ინტენსიურად ასხივებს, ვიდრე ურანი.

მ. და პ. კიურის წინადადებით გამოსხივების მოვლენას რ ა დ ი - ა ქ ტ ი ვ ო ბ ა ეწოდა, ხოლო ელემენტებს, რომლებიც გამოსხივების წინარს იჩენენ, — რ ა დ ი ა ქ ტ ი უ რ ი ელემენტები.

რადიაქტიური გამოსხივების ბუნების შესწავლის მიზნით იმავე 1898 წელს მარია და პიერ კიურებმა ჩაატარეს შემდეგი ცდა. მათ რადიუმი მოათავსეს ტყვიის კოლოფში. ტყვიის კოლოფის ხვრეტიდან გამოსული სწორხაზობრივად მოძრავი სხივების კონა მოაქციეს მაგნიტურ ველში. რადიაქტიური გამოსხივება შემადგენელ ნაწილებად დაიშალა. ნაწილი სხივებისა ძლიერ გადაიხარა სამხრეთ (S) პოლუსისაკენ, ნაწილი კი შედარებით მცირედ გადაიხარა ჩრდილოეთ (N) პოლუსისაკენ, ნაწილმა კი შეინარჩუნა თავისი სწორხაზობრივი (პირვან-

დელი) მიმართულება. ასევე იშლება რადიექტიური გამოსხივება ელექტრულ ველშიც.

მაგნიტურ და ელექტრულ ველში სხივების გადახრა იმას მოწმობს, რომ ისინი წარმოადგენენ მატერიალური ნაწილაკების ნაკადს, რომელთაც ელექტრული მუხტი აქვთ, ეს სხივები ბერძნული აღფაბეტის პირველი სამი ასოთი აღინიშნება.

სხივებს, რომლებიც უარყოფითი პოლუსისაკენ იხრებიან, α - (ალფა) სხივები უწოდეს; სხივებს, რომლებიც დადებითი პოლუსისაკენ იხრებიან, β - (ბეტა) სხივები უწოდეს, ხოლო სხივებს, რომლებიც დიდი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას წარმოადგენენ, მოძრაობენ სწორხაზობრივად და მათ მიმართულებაზე არავითარ გავლენას არ ახდენს არც ელექტრული და არც მაგნიტური ველი, γ - (გამა) სხივები უწოდეს. გარდა აღნიშნული გამოსხივებისა, გვხვდება აგრეთვე β^+ - (პოზიტრონული) გამოსხივება; პოზიტრონი ლათინური სიტყვაა და დადებითს ნიშნავს. ბეტა-პოზიტრონული გამოსხივება ალფა-გამოსხივების ანალოგიურად განიცდის გადახრას უარყოფითი პოლუსის მიმართულებით (ნახ. 2).

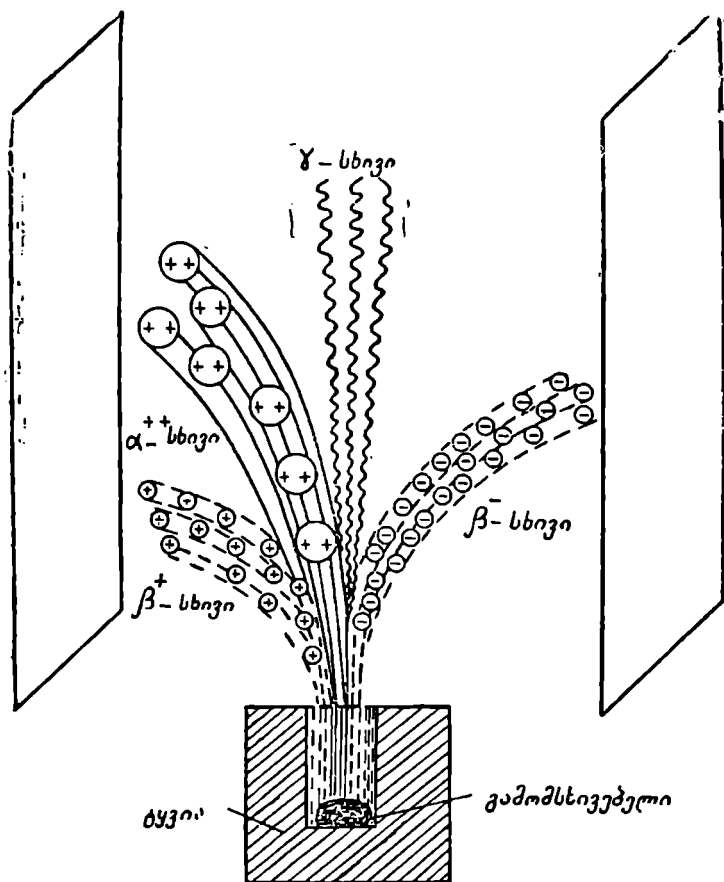
ბუნებრივი რადიექტიური ელემენტებისათვის უფრო დამახასიათებელია ალფა, ბეტა და გამა-გამოსხივება და α -, და β გარდაქმნა.

რადგან α -, და β^+ - სხივები როგორც მაგნიტურ, ისე ელექტრულ ველში უარყოფითი პოლუსისაკენ იხრებიან, ისინი დადებითად არიან დამუხტული, β^- სხივები დადებითი პოლუსისაკენ იხრებიან, და მაშასადამე, ისინი უარყოფითად არიან დამუხტული. γ -სხივები კი გადანარას არ განიცდიან არც ელექტრულ და არც მაგნიტურ ველში, ე. ი. ისინი უმუხტონი არიან.

მრავალი ექსპერიმენტული კვლევა-ძიების შედეგად დადგინდა იქნა, რომ α - სხივები შედგებიან α -ნაწილაკებისაგან, რომელთა მუხტის ფარდობა მასისადმი სიდიდით ორჯერ ნაკლები აღმოჩნდა, ვიდრე წყალბადის იონების მუხტის ფარდობა მასისადმი; ამით დადგინდა, რომ თითოეულ α -ნაწილაკს ორი დადებითი მუხტი აქვს ელექტრონის მუხტის ერთეულებში, მასა — ოთხჯერ უფრო მეტი ქანგბადოვან ერთეულებში. მაშასადამე, ალფა-ნაწილაკი წარმოადგენს ჰელიუმის ატომბირთვის (He^{++}). ატომბირთვის ცნება შემოღებულია 1911 წლიდან რეზერფორდის გამოკვლევის საფუძველზე, რომელიც ქვემოთ იქნება განხილული. α -ნაწილაკების სიჩქარე უდრის 15000—20000 კმ წაშში.

β - სხივების, ანუ β^- ნაწილაკების, მუხტის ფარდობა მასისადმი ისეთივე აღმოჩნდა, როგორც კათოდური სხივებისა — ელექტრონებისა. თავიანთი მასისადმი; მაშასადამე, ერთ β^- ნაწილაკს ერთი უარყო-

ფიტი მუხტი აქვს ელექტრონთა მუხტის ერთეულებში. β^- - ნაწილაკების მასა α^- - ნაწილაკების მასაზე დაახლოებით 7300-ჯერ უფრო ნაკლებ-



ნახ. 2. რადიაქტური გამოსხივების მიმართულება (განაწილება) ელექტრულ ველში.

ბია და უდრის 0,00055-ს უანგბადოვან ერთეულში, ანუ იგი დაახლოებით 1840-ჯერ უფრო მსუბუქია, ვიდრე წყალბადის ატომი, ე. ი. მისი მასა ელექტრონის მასის ტოლია. β^- - ნაწილაკების სიჩქარე სხვადასხვაა —150000—290000 კილომეტრამდეა წამში.

β^+ პოზიტრონული ნაწილაკების მუხტის ფარდობა მასისადმი ისეთივე აღმოჩნდა, როგორც β^- ელექტრონული ნაწილაკებისა, მხოლოდ დადებითი ნიშნით. მაშასადამე, β^+ ნაწილაკს ერთი დადებითი მუხტი აქვს ელექტრონის მუხტის ერთეულებში, მასაც იგივე, რაც β^- ელექტრონულ ნაწილაკებს. β^+ გამოსხივება, რომელიც შედგება პოზიტრონების ნაკადისაგან, უფრო ახასიათებს ხელოვნურ რადიოაქტიურ ელემენტებს.

α - და, განსაკუთრებით, β - გარდაქმნას თან ახლავს γ - გამოსხივება. გამა-გამოსხივება წარმოებს ცალკეული ულუფების სახით, ანუ კვანტებად. რომელთაც აგრეთვე ფოტონებს¹ უწოდებენ; γ -სხივები, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, უმუხტონი არიან და შედგებიან ელექტრომაგნიტური რხევითი მასისა და დიდი ენერჯის მქონე კვანტებისაგან, რომელთა შესაბამისი ტალღის სიგრძე 0,03—0,01 Å დიაპაზონში ძვეს. γ -სხივების სიჩქარე უდრის 300000 კმ/წამში (3.10¹⁰ სმ წამში), ე. ი. c -სხივების სიჩქარე სინათლის გავრცელების სიჩქარის ტოლია.

ზემოაღნიშნულ გამოსხივებათა დანარჩენი თვისებები ქვემოთ იქნება განხილული.

2. ბუნებრივი რადიოაქტივობა. ზემოაღნიშნული რადიოაქტიური ელემენტების აღმოჩენამ და მათი ბუნების შესწავლამ მეცნიერებს დიდი ინტერესი გამოიწვიეს. ჯერ კიდევ 1899 წელს ურანის მადანში მ. და პ. კიურის თანამშრომლებმა დებერიუმ¹ და პეიზელმა აღმოაჩინეს ახალი რადიოაქტიური ელემენტი — აქტინიუმი (Ac), ხოლო 1900 წელს კი გამოყვეს თორიუმის ემანაცია (თორონი) ²²⁰Em₈₆ (Tr) და რადიუმის ემანაცია (რადონი) ²²²Em₈₆ (Rn). ემანაციები იონებოან სახით გამოიყოფიან და შემდეგ ადვილად გადადიან ატომურ მდგომარეობაში. ემანაციები წარმოადგენენ რადიოაქტიურ თითოატომიან აირებს.

1905 წელს აღმოჩენილი იქნა რადიოთორიუმი RaTh(²²⁸Th₉₀), ხოლო 1907 წელს მეზოთორიუმი MsTh₁(²²⁸Ra₈₈). აღნიშვნა ²²⁸Ra₈₈ ელემენტის სიმბოლოს ქვემო ინდექსი შეესაბამება ელემენტის რიგობრივ (ატომურ) ნომერს (Z-ს), ხოლო ზედა—მასის რიცხვს. როგორც აღვნიშნეთ, მასის რიცხვი ეწოდება ატომური წონის უახლოეს მთელ რიცხვს.

ბუნებაში ძლიერი რადიოაქტიური უნარის მქონე ელემენტების რიცხვი შედარებით მცირეა, აღწევს 50-მდე. მათ რიცხვში შედის ურანიც (²³⁸U₉₂), მიუხედავად იმისა, რომ მას სუსტი რადიოაქტივობა ახასიათებს. 50 ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტი არსებითად 18 ბუნებრივი რადი-

1 ფოტონი ბერძნული სიტყვაა და სინათლეს ნიშნავს.

აქტიური ელემენტის იზოტოპებს წარმოადგენს. მათი ატომური ნომერი $Z > 83$: $^{210}\text{Po}_{84}$, $^{210}\text{At}_{85}$, $^{222}\text{Rn}_{86}$, $^{223}\text{Fr}_{87}$, $^{226}\text{Ra}_{88}$, $^{227}\text{Ac}_{89}$, $^{232}\text{Th}_{90}$, $^{231}\text{Pa}_{91}$, $^{238}\text{U}_{92}$ და ა. შ.

იზოტოპები ქვემოთ იქნება განხილული. აქ მხოლოდ აღვნიშნავთ, რომ იზოტოპი ეწოდება ერთი და იგივე ატომური ნომრისა და სხვადასხვა მასის მქონე ატომებს.

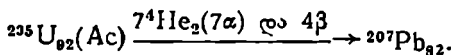
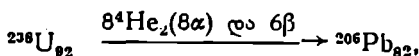
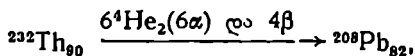
შედარებით ძლიერი რადიაქტივობის უნარის მქონე ზემოთ აღნიშნული 50 ელემენტის გარდა, რომლებიც წარმოადგენენ რადიაქტიური მწკრივის წევრებს და მკიდრო კავშირში იმყოფებიან ერთმანეთთან, არსებობს აგრეთვე მთელი რიგი სუსტი რადიაქტივობის უნარის მქონე ელემენტები, როგორცაა: $^3\text{H}_1$, $^{14}\text{C}_6$, $^{40}\text{K}_{19}$, $^{46}\text{Ca}_{20}$, $^{50}\text{V}_{23}$, $^{87}\text{Rb}_{37}$, $^{124}\text{Sn}_{50}$, $^{130}\text{Te}_{52}$, $^{138}\text{La}_{57}$, $^{142}\text{Ce}_{58}$ და ა. შ., რომლებიც რადიაქტიური ელემენტების მწკრივებში არ შედიან. რადგან ყველა ზემოგანხილული ელემენტი ბუნებაშია გავრცელებული, მათ ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტები ეწოდება, ხოლო მათ სხვისობის თვისებას კი — ბუნებრივი რადიაქტივობა.

8. რადიაქტიური მწკრივები. ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტების ოთხი ოჯახი, ანუ ოთხი მწკრივი არსებობს (უფრო სწორად არსებობდა). თორიუმის ($A=4n$), ნეპტუნის ($A=4n+1$), ურან-რადიუმის ($A=4n+2$) და აქტინო-ურანის ($A=4n+3$), ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტების ამ ოთხი ოჯახიდან ჩვენამდე მოაღწია სამაჰა, ხოლო ნეპტუნის ($A=4n+1$) ოჯახმა ჩვენამდე ვერ მოაღწია, რადგან ნეპტუნის ნახევრად დაშლის პერიოდი შედარებით მცირეა—უდრის $2.2 \cdot 10^6$ წელს და ამავე დროს ნეპტუნის მწკრივი არ შეიცავს არც ერთი დიდი სიცოცხლის მქონე ელემენტს. ნეპტუნის მწკრივი შესწავლილი იქნა მხოლოდ მას შემდეგ, როდესაც ის მიღებული იქნა ატომბირთვულ რეაქტორში. ნეპტუნის ($^{237}\text{Np}_{93}$) მიღების ატომბირთვული რეაქცია და ნახევრად დაშლის პერიოდის ცნება განხილული იქნება ქვემოთ.

რადიაქტიური ელემენტების მწკრივები მოცემულია მე-3, მე-4, მე-5 და მე-6 ნახაზებში. პირველი სამი ოჯახის, ანუ მწკრივების, გარდაქმნის მე-3, მე-4 და მე-5 ნახაზებიდან ჩანს, რომ სამივე მწკრივის გარდაქმნათა საბოლოო პროდუქტს წარმოადგენს სტაბილური (არარადიაქტიური) ტყვია. როგორც ამავე ნახაზებიდან ჩანს, თორიუმის

1 სტაბილური (არარადიაქტიური) ელემენტების ცნება შეფარდებითია, რადგან ისინი სტაბილურია მხოლოდ ჩვენს განკარგულებაში ამჟამად არსებული რადიაქტივობის განმსაზღვრელი ხელსაწყოების გრძნობიერების მიხედვით. მომავალში მრავალი მათგანის რადიაქტივობის აღმოჩენა შესაძლებელი გახდება ახალი, უფრო გრძნობიერი ხელსაწყოებისა და განსაზღვრის მეთოდების შემუშავებით.

მწკრივში გარდაქმნის დროს 6 ალფა და 4 ბეტა ამოტყორცნას აქვს ადგილი, ურან-რადიუმის მწკრივში კი 8 ალფა და 6 ბეტა ამოტყორცნას აქვს ადგილი, ხოლო აქტინო-ურანის მწკრივში 7 ალფა და 4 ბეტა ამოტყორცნას. მაშასადამე, ამ სამი მწკრივის გარდაქმნები შეჯამებულად ასე გამოისახება:



რადგან ამ პირველი სამი რადიოაქტიური მწკრივის უკანასკნელ ელემენტი არის ტყვიის სამი სტაბილური იზოტოპი, ბუნებრივი ტყვია ამ სამი იზოტოპის ნარევია, რომელთა მასის რიცხვი საშუალოდ ბუნებრივი ტყვიის მასის რიცხვს წარმოადგენს.

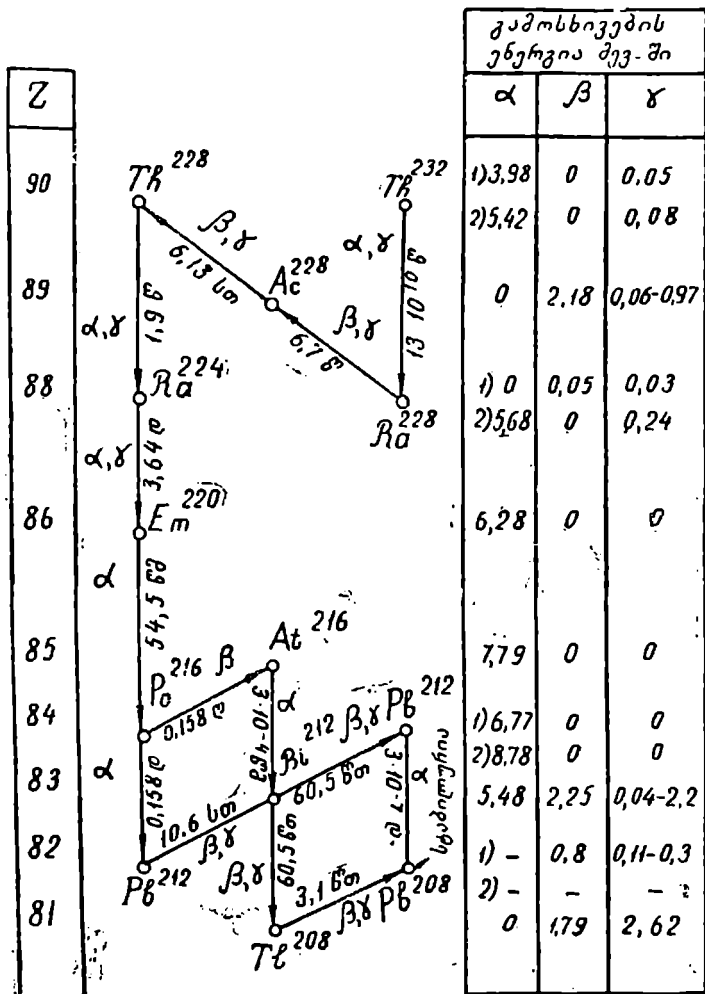
$$A_{\text{Pb}} = \frac{208 + 207 + 206}{3} = 207 \text{ უანგბადოვან ერთეულში. გარ-}$$

და ამისა, როგორც ცხრილებიდან ჩანს, სამივე ოჯახი შეიცავს თითო ემანაციას: თორიუმის, რადიუმისა და აქტინიუმის (თორონი $\text{ThEm}-A = 220$, რადონი $\text{RnEm}-A = 222$ და აქტინონი $\text{AcEm}-A = 219$). ეს ემანაციები რადიუმის α -გარდაქმნის დროს იონების სახით გამოიყოფიან და შემდეგ ადვილად გადადიან ატომურ მდგომარეობაში და მიიღება 86 ატომური ნომრის მქონე ინერტული აირი რადონი (Rn), რაც შემდეგი ატომბირთვული რეაქციით შეიძლება გამოვსახოთ:



აღნიშნული ატომბირთვული რეაქციისა და ამავე მწკრივების (იხ. ნახ. 3, 4, 5) განხილვას მივყევართ იმ დასკვნამდე, რომ ყოველი α გარდაქმნა იწვევს მოცემული რადიოაქტიური ელემენტის ატომური წონის ოთხი ერთეულით შემცირებას, ხოლო ატომური ნომრისა კი—ორი ერთეულით შემცირებას. რადგან α -ნაწილაკის მასა 4-ის ტოლია ე. ე. და აქვს ორი დადებითი მუხტი, ამიტომ ალფა-გამოსხივების დროს

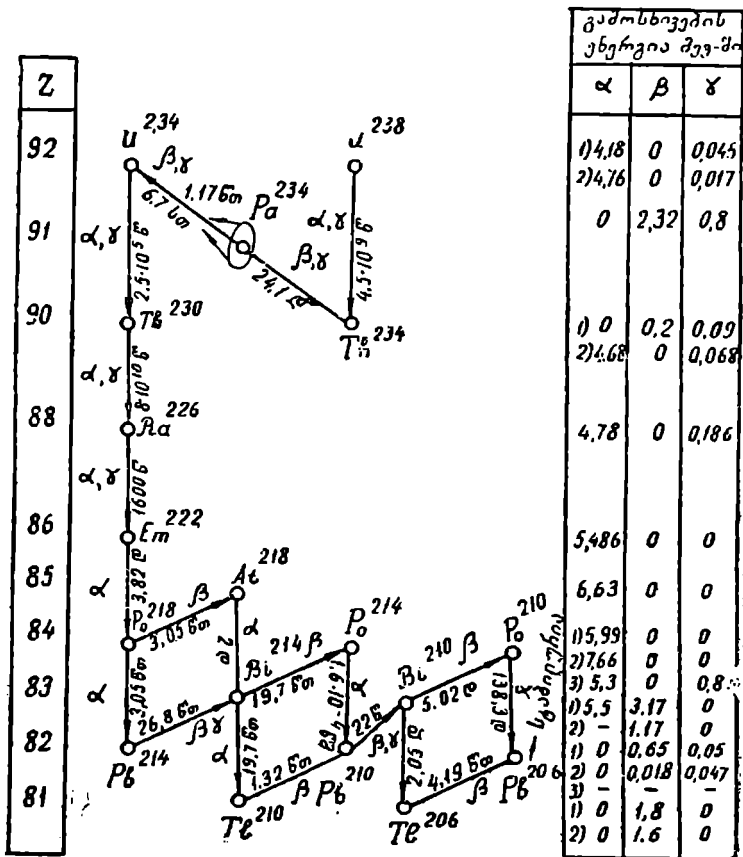
ახლად წარმოქმნილი ელემენტის ატომური ნომერი, გარდაქმნილი ელემენტის ანუ, როგორც მას უწოდებენ, დედისეულ ელემენტის ნომერთან შედარებით ორით ნაკლები იქნება, ე. ი. გარდაქმნის დროს



ნახ. 3. თორიუმის მწკრივი ($M = 4n$) ა.

ახლად წარმოქმნილი ელემენტი დ. ი. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში ორი უჯრედით გადაინაცვლებს მარჯვნიდან მარცხნივ.

ბეტა-ელექტრონული გარდაქმნა იმდენად უმნიშვნელოდ იწვევს მასის შემცირებას, რომ მას მხედველობაში არ ვლებულობთ. ე. ი. ახლად წარმოქმნილი ელემენტის ატომური წონა პრაქტიკულად იგივეა,

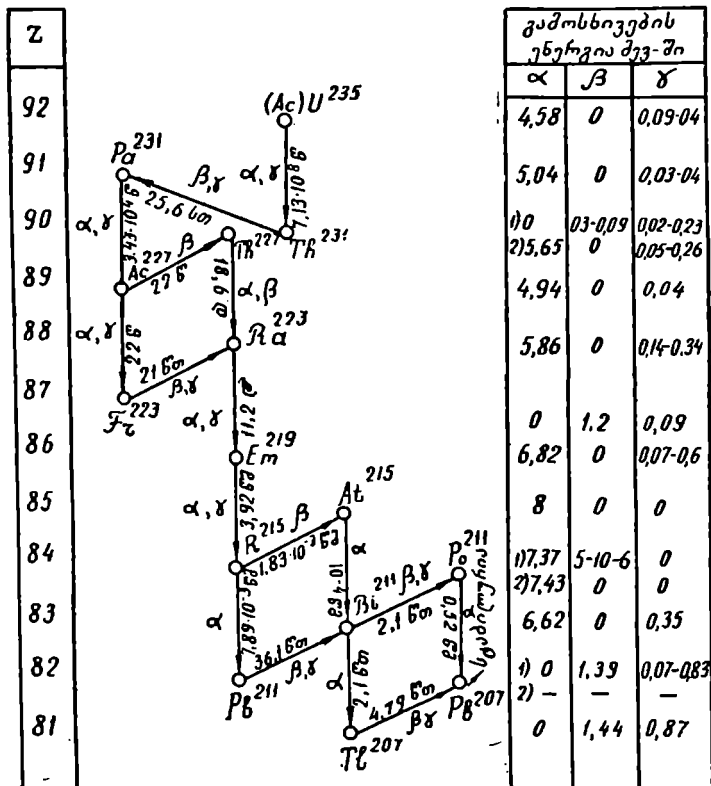


გამოსხივების ენერჯია მეგ-ში		
α	β	γ
1) 4,18	0	0,045
2) 4,76	0	0,017
0	2,32	0,8
1) 0	0,2	0,09
2) 4,68	0	0,068
4,78	0	0,186
5,486	0	0
6,63	0	0
115,99	0	0
217,66	0	0
3) 5,3	0	0
05,5	3,17	0
2) -	1,17	0
1) 0	0,65	0,05
2) 0	0,018	0,047
3) -	-	-
1) 0	1,8	0
2) 0	1,6	0

ნახ. 4. ურან-რადიუმის მწკრივი ($M=4n+2$).

შენიშვნა: $^{238}\text{U}_{92}$ -ის გარდაქმნის მეორე პროდუქტი $^{234}\text{Pa}_{91}$ იზომერულ ბირთვს წარმოადგენს.

რაც გარდაქმნილი, ანუ დედისეული ელემენტის ატომური წონა. ხოლო ატომური ნომერი კი ერთი ერთეულით იზრდება. მაგალითად, ნექტუნის მწკრივის წევრი პროტაქტინიუმიდან ბეტა-ნაწილაკის გამოსხივებისას მიიღება ურანი, რაც შემდეგი ატომბირთვული რეაქციით გა-

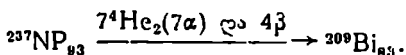


ნახ. 5. აქტინო-ურანის მწკრივი ($M=4n+3$).

მოისახება: $^{233}\text{Pa}_{91} \rightarrow ^{233}\text{U}_{92} + \beta$. ამრიგად, ბეტა-ელექტრონული გარდაქმნის დროს ახლად წარმოქმნილი ელემენტი დ. ი. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში ერთი უჯრედით გადაინაცვლებს მარცხნიდან მარჯვნივ. გადაინაცვლების ეს წესი, რომლის თანახმად α გარდაქმნა იწვევს ელემენტის ატომური ნომრის ორი ერთეულით შემცირებას, ხოლო β

(4.1) = 228 და ა. შ. საბოლოო პროდუქტი ტყვიის მასის რიცხვი კი უდრის $A = 232 - (4.6) = 208$. გარდა ამისა, როგორც მე-3 ნახაზიდან გამოვიყვანეთ, თორიუმის შვკრივში გარდაქმნის დროს 6 ალფა და 4 ბეტა ამოტყორცნას აქვს ადგილი. გადანაცვლების წესის თანახმად, მწკრივის უკანასკნელი ელემენტის ატომური ნომერი $Z = 90 - [6.2 + (-4)] = 82$, ე. ი. $Z = 82$. ეს ელემენტი არის ტყვია, რაც მე-3 ნახ-ით და შეჯამებული გარდაქმნის ფორმულითაც დასტურდება.

ამავე წესით თუ განვიხილავთ ნეპტუნის მწკრივს, მივიღებთ შემდეგს. როგორც მე-5 ნახაზიდან ჩანს, ნეპტუნის მწკრივში გარდაქმნის დროს 7 ალფა და 4 ბეტა ამოტყორცნას აქვს ადგილი. გადანაცვლების წესის თანახმად, მწკრივის უკანასკნელი ელემენტის ატომური ნომერი $Z = 93 - [7.2 + (-4)] = 83$; $Z = 83$ ელემენტი არის ბისმუტი. ხეპტუნიის ($^{237}\text{Np}_{93}$) მწკრივის გარდაქმნის შედეგად მიღებული ბისმუტის მასის რიცხვი ტოლი იქნება $A = 237 - (4.7) = 209$. მაშასადამე, ნეპტუნისა და მწკრივის გარდაქმნა შეჯამებულად შეიძლება გამოვსახოთ ასე:



ზემოთ განხილული ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტების შეაწვალამ ბევლევარები შიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ რადიოაქტივობა ახასიათებს დიდი მასის მქონე ელემენტებს, რომლებიც იმდენად არამდგრადნი არიან, რომ თვითდაშლას განიცდიან. გარდა ზემოთ განხილული ბუნებრივი მძიმე რადიოაქტიური ელემენტების ოთხი ოჯახის ანუ მწკრივისა, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, არსებობს შედარებით მსუბუქი ელემენტები, რომლებიც რადიოაქტივობის უნარს იჩენენ და რადიოაქტიური ელემენტების მწკრივში არ შედიან. ასეთია ქვემომოყვანილ ცხრილში დასახელებული 22 ელემენტი, რომლებიც რადიოაქტიური ელემენტების ოჯახებს ანუ მწკრივებს არ წარმოქმნიან, არამედ მათი გარდაქმნის შედეგად უშუალოდ მიიღება სტაბილური — არარადიოაქტიური ელემენტები, რითაც ისინი განსხვავდებიან მძიმე რადიოაქტიური ელემენტების გარდაქმნის ხასიათისაგან. ასეთი უმნიშვნელოვანესი ბუნებრივი რადიოაქტიური იზოტოპები და მათი ზოგიერთი თვისება მოცემულია 1-ლ ცხრილში. ცხრილში მოცემული 22 რადიოაქტიური მწკრივის გარეშე მყოფი ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებიდან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კალიუმის რადიოაქტიური იზოტოპი ($^{40}\text{K}_{19}$), რომელიც დიდი ხნის წინათ იყო ცნობილი, ამის მიუხედავად მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი დადგენილი და დაზუსტებული იქნა უკანასკნელ ხანს. კალიუმის

მინერალებში კალიუმ-40-ის მცირე შემცველობის (~0,0119%) გამო მისი ხვედრითი აქტივობა მცირეა, მაგრამ იგი მაინც არანაკლებ როლს ასრულებდა და ასრულებს ჩვენი პლანეტის თბურ ბალანსში,

ცხრილი 1

ბუნებრივი რადიოაქტიური იზოტოპები

ატომური ნომერი	იზოტოპი მასის რიცხვით A	შემცველობა სტაბილურ იზოტოპში %-%-ში	ნახევრად დაშლის პერიოდი წლებში	გარდაქმნის ტიპი	ენერგია მილიონ ელექტრონოვოლტებში			დაშლის სტაბილური პროდუქტი
					α	β	λ	
1	H ³	0,00005	12,4	β-	—	0,018	—	He ³
6	C ¹⁴	10-10	5720	β-	—	0,155	—	N ¹⁴
19	K ⁴⁰	1,19·10 ⁻²	1,3·10 ⁹	β-, K-, γ	—	1,33	1,46	Ar ⁴⁰ , Ca ⁴⁰
23	V ⁵⁰	0,24	6,1·10 ¹⁵	β-, K-, γ	—	0,4	0,78	Ti ⁵⁰ , Cr ⁵⁰
37	Rb ⁸⁷	27,85	6,1·10 ¹⁰	β-, γ	—	0,28	?	Sr ⁸⁷
40	Zr ⁹⁰	2,80	7,2·10 ¹⁶	2β-	—	—	—	Mo ⁹⁰
48	Cd ¹¹³	12,26	~2·10 ¹⁷	β-	—	—	—	In ¹¹³
49	In ¹¹⁵	95,72	5·10 ¹⁴	β-	—	0,48	—	Sn ¹¹⁵
51	Sb ¹²³	42,75	>10 ¹⁴	β-	—	—	—	Te ¹²³
52	Te ¹²³	0,87	1,2·10 ¹³	K	—	—	—	Sb ¹²³
50	Sn ¹²⁴	5,98	1,5·10 ¹⁷	2β-	—	—	—	Te ¹²⁴
52	Te ¹³⁰	34,49	1,4·10 ²¹	2β-	—	—	—	Xe ¹³⁰
57	La ¹³⁸	0,069	2·10 ¹¹	β+, K-, γ	—	—	—	Ba ¹³⁸ , Ce ¹³⁸
58	Ce ¹⁴²	11,07	5,1·10 ¹⁵	α	1,5	0,2	0,81	Ba ¹³⁸
60	Nd ¹⁴⁴	23,85	2,5·10 ¹⁵	α	1,9	—	—	Ce ¹⁴⁰
60	Nd ¹⁵⁰	5,60	5·10 ¹⁰	β-	—	—	—	Pm ¹⁵⁰
62	Sm ¹⁴⁷	15,09	1,2·10 ¹¹	α	2,18	—	—	Nd ¹⁴³
71	Lu ¹⁷⁶	2,6	2,4·10 ¹⁰	β-, γ	2,5	0,40	0,31	Hf ¹⁷⁶
72	Hf ¹⁷⁴	0,18	2·10 ¹⁵	α	—	—	—	Yb ¹⁷⁰
75	Re ¹⁸⁷	62,93	4·10 ¹²	β-, γ	—	0,001	—	Os ¹⁸⁷
78	Pt ¹⁸⁰	0,012	5·10 ¹¹	α	3,11	—	—	Os ¹⁸⁸
64	Gd ¹⁶²	0,78	1,1·10 ¹⁴	α	2,14	—	—	Sm ¹⁴⁸

ვიდრე ურანი და თორიუმი ასრულებენ, მართალია, 1 გ სილიკატურ ქანებში შემავალი კალიუმ-40 გამოყოფს 0,9 კალ/წელ სითბოს, მაშინ როდესაც ურანი და თორიუმი ~3 კალ/წელს, მაგრამ გრანიტებში კალიუმის შემცველობა ~4-ჯერ მეტია, ვიდრე ურანი და თორიუმისა. გარდა ამისა, კალიუმ-40-ის ნახევრად დაშლის პერიოდი 1,3·10⁹ წელია, ურან-238-ისა 4,510⁹ წელი და თორიუმ-232-ისა კი 1,39⁹·10¹⁰ წელი.

ამრიგად, კალიუმ-40-ის ნახევრად დაშლის პერიოდი შედარებით მცირეა, რის გამოც იგი ამჟამად მცირე რაოდენობით იგზვდება. 3—4 მილიარდი წლის წინათ კი მისი წილი უდაოდ დიდი იყო ჩვენი პლანეტის გარსის გაღობილ მდგომარეობაში ასეული მილიონი წლებით შენარჩუნებისათვის.

1-ლ ცხრილში მოყვანილი ცალკეული ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებიდან რადიოაქტიური ნახშირბადი ($^{14}\text{C}_6$), რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი 5720 წელია, და ტრითიუმი ($^3\text{H}_1$)-ისა 12,4 წელი, უდავოდ განუწყვეტლივ წარმოიქმნებიან კოსმოსური ნაწილაკებით, კერძოდ ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად, მით უფრო 1 სმ² დედამიწის ზედაპირზე ეცემა 2,4 ნეიტრონი (n) ყოველ წამში. ისე კი რადიოაქტიური ნახშირბადი და ტრითიუმი, რა თქმა უნდა, ჩვენამდე ვერ მოაღწევდა, რადგან მათი ნახევრად დაშლის პერიოდი მეტისმეტად მცირეა. რაც შეეხება ტექნოციუმ-92—102-ს და პრომეთიუმ-141—154-ს ისინი წარმოქმნილი არიან კოსმოსური ნეიტრონებით ბომბარდირების ან ურანის თვითდაშლის შედეგად. თორიუმის, ურან-რადიუმის, აქტინო-ურანის მწკრივებში შემავალი და ამ მწკრივებში არაშემავალი ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტები და, საერთოდ, დ. ი. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში მოთავსებული ელემენტები წარმოიქმნენ დედამიწის ზედაპირის, უფრო სწორად, ჩვენი პლანეტის შემცველი მასის ჩამოყალიბებისას.

როგორც ზემოგანხილული მასალებიდან, მე-3, მე-4, მე-5, მე-6 ნახ. და 1-ლი ცხრილიდან ჩანს, ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებიდან სუფთა α -გამოსხივებას იძლევიან $^{142}\text{Ce}_{58}$, $^{144}\text{Nd}_{60}$, $^{147}\text{Sm}_{62}$, $^{180}\text{W}_{74}$, $^{200}\text{Pt}_{78}$, $^{209}\text{Bi}_{83}$ და ა. შ., სუფთა β^- - (ელექტრონულ) გამოსხივებას იძლევიან: $^3\text{H}_1$, $^{14}\text{C}_6$, $^{130}\text{Te}_{52}$, $^{160}\text{Nd}_{60}$ და ა. შ., სუფთა β^+ - (პოზიტრონულ) გამოსხივებას იძლევიან: $^{28}\text{Si}_{14}$, $^{78}\text{Kr}_{36}$, $^{110}\text{Jn}_{54}$, α - და γ -გამოსხივებას: $^{210}\text{Po}_{84}$, $^{226}\text{Ra}_{88}$, $^{238}\text{Th}_{90}$, $^{231}\text{Pa}_{91}$ და ა. შ.

β^- - (ელექტრონულ) და γ -გამოსხივებას: $^{87}\text{Rb}_{37}$, $^{17}\text{Lu}_{71}$ და ა. შ.

β^+ - (პოზიტრონულ) და γ -გამოსხივებას: $^{60}\text{Cu}_{29}$, $^{138}\text{La}_{57}$ და სხვა.

γ -გამოსხივებას: $^{103m}\text{Rh}_{45}$, $^{129m}\text{Xe}_{54}$, $^{137m}\text{Ba}_{56}$ და სხვ.

α - β და γ -გამოსხივებას: $^{227}\text{Ac}_{89}$, $^{238}\text{U}_{92}$, $^{235}\text{U}_{92}$ და ა. შ.

ამრიგად, რადიოაქტიური ელემენტები ერთსა და იმავე დროს ყველა გამოსხივებას (α , β^- , β^+ , γ), არ იძლევიან ზოგი მათგანი იძლევა α -გამოსხივებას, ზოგი β^- - (ელექტრონულ) გამოსხივებას, ზოგი β^+ - (პოზიტრონულ) გამოსხივებას და ზოგიც γ -გამოსხივებას. ხშირად ადგილი აქვს კომბინირებულ გამოსხივებასაც: α -და γ ან β^- და γ -გამოსხივებას ან კიდევ α - β და γ -გამოსხივებას.

ამის მიხედვით რადიოაქტიური ელემენტები იყოფიან: ალფა-გამომოსხივებელ, ბეტა-გამომოსხივებელ, გამა-გამომოსხივებელ, ან ალფა-გამა ან ბეტა-გამა გამომოსხივებელ ელემენტებად. ორი უკანასკნელი სახელწოდება იმათ ელემენტებს აქვთ, რომლებიც ერთსა და იმავე დროს იძლევიან ალფა

და გამა ან ბეტა და გამა-გამოსხივებას ერთად. თუ ალფა- ან ბეტა-გამოსხივებისას წარმოიქმნა აგზნებული ატომბირთვი, მაშინ ეს ატომბირთვი, ისე როგორც აგზნებული ატომი, გადავა ჩვეულებრივ მდგომარეობაში და აგზნების ენერჯია გამა-კვანტის სახით გამოაზივდება; გამა-კვანტების ნაკადს გამა-გამოსხივება ეწოდება. გამა-გამოსხივების დროს ატომური ნომერი და მასის რიცხვი უცვლელი რჩება, რადგან მათ არც მუხტი გააჩნიათ და არც მოსვენებითი მასა, არამედ აქვთ ელექტრომაგნიტური რხევითი მასა.

ატომის აღნაგობა და ატომბირთვის მდგრადობა

1. ატომის აღნაგობა. ზემოთ განხილული ფოტოელექტრული ეფექტის, კათოდური სხივების, იონიზაციის, რადიაქტივობის და სხვ. ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე ნათელი იყო ის, რომ ატომი რთული აღნაგობისაა და ის უარყოფითად და დადებითად დამუხტულ ნაწილაკებს შეიცავს. აქედან გამომდინარე, 1910 წელს გამოჩენილმა ინგლისელმა ფიზიკოსმა დ. ტომსონმა წამოაყენა ატომის აღნაგობის პირველი მოდელი, რომლის მიხედვით ატომი წარმოადგენს 10^{-8} სმ-ის დიამეტრის მქონე სფეროს, რომლის ძირითად მასას ქმნის ატომის დადებით მუხტიანი ნაწილაკები (პროტონები). ტომსონის მიხედვით, ატომის დადებით მუხტიანი ნაწილაკები თანაბრადაა განაწილებული ატომის მთელ მოცულობაში და უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები — ელექტრონები ამ მასაში შეტივტივებულ მდგომარეობაში იმყოფებიან იმ რაოდენობით, რაც საკმარისია ატომის მთელი დადებითი მუხტის გასაანეიტრალებლად. ამრიგად, ტომსონის მიხედვით, ატომის მუხტი და მასა მთლიანად და თანაბრად ავსებდა ატომის მთელ მოცულობას. მალე ეს თეორია და ატომის აღნაგობის პირველი მოდელი, ტომსონის მიერ მოცემული, უარყო მისმა თანამემამულემ, გამოჩენილმა ფიზიკოსმა ე. რეზერფორდმა. 1909 წლიდან რეზერფორდი ირკვევდა—ამა თუ იმ ნივთიერების რა სისქის ფენაში გაივლიან რადიაქტიური იზოტოპებიდან ამოტყორცნილი ალფა-ნაწილაკები და ინარჩუნებენ თუ არა ისინი წინანდელ მიმართულებას. ამის გასარკვევად მან ალფა-ნაწილაკების ვიწრო კონა დაუშინა ლითონის (ალუმინის) თხელ 10^{-3} სმ სისქის ფოლგას. ფოლგის ორივე მხარეს დადგმული იყო ფლუორესცენციის უნარის მქონე ეკრანი (გოგირდთუთის ეკრანი). წინა ეკრანის ვიწრო ხვრეტიდან უშენდა რა ალფა-ნაწილაკებს, შენიშნა, რომ თითქმის ყველა ალფა-ნაწილაკი თავისუფლად გადიოდა ფოლგის ნივთიერების თხელ ფენაში მიმართულების შეუცვლელად, თითქოს

ფოლგის ატომები გამკვირვალა და არაერთარ დაბრკოლებას არ უქმნიან ალფა-ნაწილაკების მოძრაობას. საშუალოდ 500000 ალფა-ნაწილაკიდან თითო ალფა-ნაწილაკი განიცდიდა გადახრას პირვეანდელი მიმართულებიდან, ე. ი. ადგილი ჰქონდა ალფა-ნაწილაკების გაბნევას სხვადასხვა კუთხით. იშვიათ შემთხვევაში საშუალოდ ყოველი 500000 ალფა-ნაწილაკიდან თითო ალფა-ნაწილაკის გაბნევის კუთხე 90° -ს აღემატებოდა და წინა გოგირდთუთიის ეკრანზე იძლეოდა ნათებას.

რეზერფორდმა დაასკვნა, რომ რადგან ალფა-ნაწილაკი დადებითი მუხტის მქონეა, ძლიერ გადაიხრება ის ალფა-ნაწილაკი, რომელიც ურთიერთმოქმედებაში მოდის დადებითად დამუხტულ ატომის ცენტრში მყოფ ნაწილაკთან, რომელშიც თითქმის ატომის მთელი მასაა თავმოყრილი და რომელსაც ატომის მოცულობის უმნიშვნელო ნაწილი უჭირავს. ატომის ამ ცენტრალურ ნაწილს ატომბირთვი უწოდეს. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ალფა-ნაწილაკების გაბნევის ხასიათი დამოკიდებულია ატომბირთვის მუხტის სიდიდეზე. მასასადამე, ალფა-ნაწილაკებს უფრო ძლიერად გააბნევს ის ელემენტები, რომელთა ატომბირთვებში მუხტების ზეტი რაოდენობაა. გამომდინარე აქედან, რეზერფორდმა და ჩევიდემ 1920 წელს გაიმეორეს ალფა-ნაწილაკების გაბნევის ცდები. გაზომეს რა სპილენძის, ვერცხლისა და პლათინის ატომბირთვის დადებითი მუხტები, ელექტრონის მუხტის ერთეულეებში გაზომეს, რომ ყველა ელემენტისათვის ატომბირთვის დადებითი მუხტის რაოდენობა აბსოლუტური მნიშვნელობით უდრის ელექტრონის მუხტების რაოდენობას მთელ რიცხვებში, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა უდრის შოცემული ნივთიერების ატომის რიგით ნომერს (Z) მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. ატომბირთვის ელემენტარულ მატერიალურ ნაწილაკს, რომელსაც დადებითი მუხტი აქვს; პროტონი ეწოდება და აღინიშნება ასო P-თი; პროტონი ბერძნული სიტყვაა და პირველს ნიშნავს. პროტონის მასა ატომური მასის ერთეულით გამოსახვისას უდრის 1,00758. რადგან აბსოლუტური სიდიდის მიხედვით ელექტრონის მუხტების რაოდენობა ატომბირთვის პროტონის მუხტების რაოდენობის ტოლია, ნივთიერების ატომის რიგითი ნომერი (Z) აგრეთვე გამოსახავს ელექტრონების მუხტების რაოდენობასაც.

ამრიგად, ატომური ნომრის (Z) ფიზიკური მნიშვნელობა ის არის, რომ იგი განსაზღვრავს როგორც ატომბირთვის მუხტს $+Z$, ისე ატომის ელექტრული გარსის მუხტს $-Z$. ნორმალურ მდგომარეობაში ყოველი ატომბირთვის და ატომის ელექტრული გარსის მუხტები ტოლი და ნიშნით საპირისპირონი არიან $+Z$ და $-Z$, ე. ი. ატომური ნომერი

(Z) გვიჩვენებს როგორც პროტონების (+Z), ისე ელექტრონების რიცხვს (-Z). აქვე აღსანიშნავია ისიც, რომ ქიმიური ელემენტები მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში განლაგებულია ატომური ნომრების, ე. ი. ატომბირთვის დადებითი მუხტების ანუ პროტონების რიცხვების ზრდის მიხედვით. მაშასადამე, ნებისმიერი ატომბირთვისათვის დადებითი მუხტის რაოდენობა Q გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = +Ze,$$

სადაც e მუხტის ელემენტარული რაოდენობაა და უდრის $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ ელექტროსტატიკურ ერთეულს, +Z—ატომბირთვის მუხტია, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა უდრის მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში ატომურ ნომერს.

ზემოაღნიშნული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე რეზერფორდმა 1911 წელს წამოაყენა ატომის აღნაგობის ახალი მოდელი, რომლის თანახმად:

1) ატომბირთვში, რომლის რადიუსი 10^{-12} — 10^{-13} სმ რიგისაა და რომელსაც ფერმი ეწოდება, წარმოადგენს სიგრძითი ერთეულის ზედა ზღვარს. ასეთ უმცირეს მოცულობაში კონცენტრირებულია ატომის დადებითი მუხტი მთლიანად და თითქმის ატომის მთელი მასა, ელექტრონების მასის გამოკლებით;

2) ატომბირთვის დადებითი მუხტი და ელექტრონების რიცხვი ატომში ცალ-ცალკე უდრის მოცემული ელემენტების ატომის რიგით ნომერს მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. ამრიგად, ყველა ელემენტისათვის ნორმალურ მდგომარეობაში ატომბირთვის დადებითი მუხტების რაოდენობა აბსოლუტური მნიშვნელობით უდრის ელექტრონის მუხტების რაოდენობას მთელ რიცხვებში. ამიტომ ატომი ელექტრონეიტრალურია:

3) ატომბირთვისა და ელექტრონების ურთიერთ ელექტრული მოქმედება კულონის კანონს ემორჩილება;

4) ატომბირთვის ირგვლივ ელექტრულ გარსში ყოველგვარი სიდიდის ორბიტზე მოძრაობენ ელექტრონები. ასე, ატომი წააგავს მზის სისტემას, სადაც ცენტრში მოთავსებულია მზე და მის ირგვლივ სხვადასხვა ორბიტზე მოძრაობენ პლანეტები. ამ მსგავსების გამო რეზერფორდის ატომის აღნაგობის მოდელმა პლანეტური მოდელის სახელწოდება მიიღო.

ატომის პლანეტური მოდელი ძირითადად სწორი და ნაყოფიერი აღმოჩნდა ელემენტების მთელ რიგ ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებათა ასახსნელად. მაგრამ თუ რეზერფორდის ატომის პლანეტურ მოდელს სწორად ჩავთვლით, მაშინ ელექტროდინამიკის კანონის თანახმად, ატომ-

ბირთვის ორბიტზე მოძრავი დამუხტული ნაწილაკები — ელექტრონები ატომბირთვის ირგვლივ მიმოქცევის დროს თავის ენერგიას თანდათან უნდა ხარჯავდეს გამოსხივებისათვის, რის გამოც ატომის სრული ენერგია უნდა შემცირდეს. ამის შემდეგ ელექტრონი თანდათან უნდა მიუახლოვდეს ატომბირთვს და ბოლოს მას უნდა დაეცეს. თუ ეს ასეა, ატომი უმდგრად სისტემას უნდა წარმოადგენდეს, მაშინ როდესაც ატომი მეტად მდგრადია და ატომის ელექტრონები არ ეცემიან ატომბირთვს. გარდა ამისა, ელექტროდინამიკიდან გამომდინარეობს ისიც, რომ თუ ელექტრონი ორბიტზე მიმოქცევისას თანდათან უახლოვდება ატომბირთვს, მან უწყვეტად უნდა გამოასხივოს ცვლადი სიგრძის ტალღები, მაშინ როდესაც ატომის სპექტრი წყვეტილია, ე. ი. ცალკეული ხაზებისაგან შედგება.

კლასიკური ელექტროდინამიკისა და რეზერფორდის ატომის აღნაგობის მოდელის აღნიშნული წინააღმდეგობანი ამოხსნა გამოჩენილმა დანიელმა მეცნიერმა ნილს ბორმა. თავისი თეორიით ნ. ბორმა დააზუსტა და გარკვეულობა შეიტანა რეზერფორდის მიერ მოცემული ატომის აღნაგობის საკითხში, რომელიც კარგად ასახავს მრავალი ექსპერიმენტული მონაცემის პრინციპულ მხარეს, მაგრამ მაინც წინააღმდეგობაშია ელექტროდინამიკის კანონებთან. ნ. ბორმა თავისი თეორია სამი დებულების სახით ჩამოაყალიბა, რომელთა დამტკიცება იმ ხანებში არ შეიძლებოდა და არ წარმოადგენდა უდრო ჰეშმარტებებს. ამიტომ მათ იმ დროს პოსტულატები ეწოდა (ამჟამად ისინი გამომდინარეობენ ტალღური მექანიკიდან).

ეყრდნობოდა რა ექსპერიმენტულ მონაცემებს, ნ. ბორმა თავისი პოსტულატებით მნიშვნელოვანი კორექტივები შეიტანა რეზერფორდის თეორიაში. თუ რეზერფორდმა ატომის აღნაგობის თეორიაში ელექტრონებისათვის ყოველგვარი სიდიდის ორბიტების არსებობა დაუშვა, ნ. ბორის პირველი პოსტულატის თანახმად, ელექტრონი ბრუნავს არა ტრონული ორბიტის (და არა ყოველგვარისა) არსებობა ატომში, რომლებიც ატომბირთვიდან გარკვეულ მანძილზე არიან განლაგებული და კარგად აზასიათებენ ატომის ენერგეტიკული დონის მდგომარეობას. ნ. ბორის პირველი პოსტულატის თანახმად, ელექტრონი ბრუნავს არა ყველა თეორიულად შესაძლებელ ორბიტზე, არამედ მხოლოდ გარკვეული რადიუსის მქონე, ე. ი. ქვანტურ¹ ორბიტზე, და მოცემულ ორ-

¹ ქვანტურია ისეთი ორბიტა, რომელიც აკმაყოფილებს შემდეგ პირობას $2\pi r m v = n h$, სადაც r არის ორბიტის რადიუსი, რომელზეც m მასის მქონე ელექტრონის სინქარით მოძრაობს, n —მთელი რიცხვია ($n=1, 2, 3, \dots$), ხოლო h —მოკმედების ქვანტია (პლანკის უნივერსალური მუდმივა).

ბიტზე ელექტრონების ზუსტად განსაზღვრული რაოდენობა მოძრაობს. ნ. ბორის მეორე პოსტულატის თანახმად, სტაციონარულ ორბიტზე ელექტრონების მიმოქცევისას ელექტრონი არ ასხივებს ენერგიას და ატომი იმყოფება მდგრად მდგომარეობაში. ორბიტზე ელექტრონის ენერგია კი გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$E = - \frac{Z^2 e^4 m e}{2 h^2 \cdot n^2}, \quad (1-1)$$

სადაც $m e$ ელექტრონის მასა ($9,1 \cdot 10^{-28}$ გ);

e —ელექტრონის მუხტი ($1,6 \cdot 10^{-19}$ კულონი);

z —ატომბირთვის მუხტი;

n —მთელი რიცხვიანი მნიშვნელობები აქვს და განაპირობებს ორბიტის რადიუსს (ე. ი. გამოსახავს მანძილს ელექტრონსა და ატომბირთვის შორის);

h —არის პლანკის მუდმივა [$h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ ერგ/წმ ($6,62 \cdot 10^{-34}$ ჯოულ/წმ.)].

მესამე პოსტულატის თანახმად, ატომის მიერ სხივური ენერგიის გამო-სხივებას ან შთანქმას ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც ერთი ორბიტიდან ელექტრონი გადადის მეორე ორბიტზე. სხივური ენერგიის გამო-სხივება კი წარმოებს ცალკეული ულუფების სახით, ანუ კვანტებად, როცა მოცემული ორბიტიდან ელექტრონი გადადის ატომბირთვთან უფრო ახლო ორბიტზე, მაშინ გამოსხივებული სხივური ენერგიის სი-დიდე პლანკის მუდმივას პროპორციულია. ამრიგად:

$$E_p - E_o = h \nu, \quad (1-2)$$

სადაც E_p და E_o გამოსახვენ ელექტრონის სრულ ენერგიას შესაბამისად P და O ორბიტაზე ($P > O$).

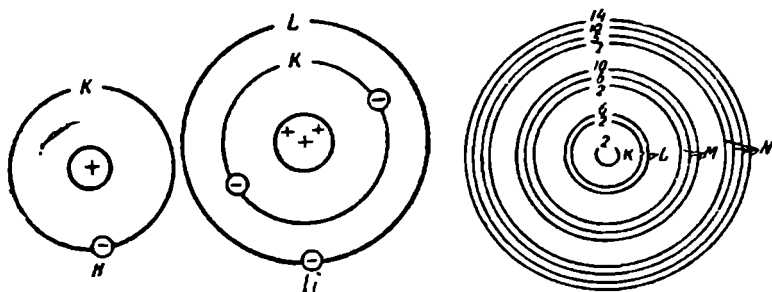
ატომბირთვთან უახლოეს ორბიტს ეწოდება K -ორბიტა, მიმდევ-ნო ორბიტებს აღნიშნავენ L, M, N, O, P, Q სიმბოლოებით.

ამრიგად, ატომში მიმდინარე პროცესების განხილვისათვის ნ. ბორ-მა პირველმა გამოიყენა კვანტური თეორია, რომლითაც შესაძლებელია შიგაატომური გარდაქმნების (ატომის ოპტიკური სპექტრები და სხვ.) სწორად გაგება. შემდეგში კვანტური თეორია განავითარეს ვ. ჰეიზენ-ბერგმა, ე. შრედინგერმა, ა. ზომერფელდმა, გ. მონტე-ნი-სი და სხვ.

თანამედროვე შეხედულებებიდან გამომდინარე, უფრო სწორია ორბიტის ნაცვლად ვიხმართ ელექტრონული გარსი, ანუ ელექტრონუ-ლი შრე (K, L, M, N, O, P და Q). ატომბირთვთან უახლოეს გარსზე მიმოქცევაში მყოფი ელექტრონები უფრო მტკიცედაა დაკავშირებული

ატომბირთვთან, ვიდრე მომდევნოებში. ამიტომ ელექტრონები მიისწრაფიან გადავიდნენ ატომბირთვთან უახლოეს გარსზე და იქ დაიკავეთ ადგილი, ე. ი. ელექტრონები უმდაბლესი ენერგეტიკულ დონის დაკავებისავენ მიისწრაფიან. მაგრამ ამა თუ იმ ელექტრონულ გარსზე არ შეიძლება იყოს „ნებადართულ“ რაოდენობაზე მეტი ელექტრონები. ასე, მაგალითად, ატომბირთვთან უახლოეს პირველ ელექტრონულ K-გარსში შეიძლება იყოს არა უმეტეს 2 ელექტრონისა, მეორე L-ში — 8, მესამე M-ში—18, მეოთხე N გარსში—32 და ა. შ.

ამრიგად, ატომბირთვის მუხტის ზრდასთან ერთად, ანუ მსუბუქი ელემენტებიდან უფრო მძიმე ელემენტებისაკენ გადასვლისას ჭერ შეივსება პირველი გარსი, შემდეგ კი მიმდევრო გარსები (ნახ. 7). ეს კანონზომიერება მკაფიოდ არის ასახული დ. ი. მენდელეევის ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულ სისტემაში.



ნახ. 7. წყალბადის, ლითიუმისა და ატომის ელექტრული გარსის აღნაგობის სქემა.

თანამედროვე კვანტური მექანიკის წარმოდგენის თანახმად, ატომის აღნიშნული სხვადასხვა მდგომარეობა განპირობებულია გარსის ელექტრონთა ენერჯიის სხვადასხვა მნიშვნელობით. ელექტრონთა ეს სხვადასხვა მდგომარეობანი შეიძლება დავახასიათოთ ოთხი კვანტური რიცხვით n, l, m, S .

1) მთავარი კვანტური n რიცხვი გამოსახავს უაღბათეს მანძილს ელექტრონისა და ატომბირთვის შორის და იგი ღებულობს ნატურალური მწკრივის წევრთა სხვადასხვა მთელი რიცხვა მნიშვნელობებს: $n = 1, 2, 3, \dots$ და ა. შ. რადგან ელექტრონის ენერჯია მით მეტია, რაც უფრო მეტია მანძილი ატომბირთვისა და ატომბირთვის გარსზე მიმოქცევაში მყოფ ელექტრონებს შორის, ამიტომ მთავარი კვანტური (n) რიცხვის მნიშვნელობა ელექტრონის ენერჯიის განმსაზღვრელია.

მრავალელექტრონიანი ატომების ელექტრონთა ენერჯია (ატომბირთვისა და ელექტრონის შორის მანძილი) მთავარ კვანტურ რიცხვ

n-ს გარდა დამოკიდებულია აგრეთვე ელექტრონის მოძრაობის (ბრუნვის) რაოდენობის ორბიტულ მომენტზე, რომელიც აღინიშნება l სიმბოლოთი და ეწოდება ორბიტულ კვანტური რიცხვი; ამ უკანასკნელის რიცხვითი მნიშვნელობა, დაწყებული 0-დან და დამთავრებული n-1-ით, მთელი რიცხვებითაა გამოხატული. ასე, მაგალითად, როცა $n=1$, ორბიტული კვანტური რიცხვი უდრის ნულს ($l=0$); როცა $n=2$, მაშინ l უდრის 0 და 1; თუ $n=3$, ორბიტული კვანტური რიცხვი l უდრის 0; 1 და 2 და ა. შ. თითოეულ ორბიტულ რიცხვს შეესაბამება კვეჩგუფის გამოშსახველი სიმბოლოები S, P, d, f და ა. შ. ორბიტულ კვანტურ რიცხვთან l -თან დაკავშირებულია მაგნიტური რიცხვი, რომელიც აღინიშნება m სიმბოლოთი. მაგნიტური კვანტური რიცხვი (m) შეიძლება იყოს ყოველგვარი მთელი რიცხვი $+l$ და $-l$ შორის, ნულის ჩათვლით, ე. ი.

როცა $l = 0$,	მაშინ $m = 0$;	ხოლო S არის ერთი
$l = 1$,	„ $m = 1, 0, -1$;	„P„ სამი
$l = 2$,	„ $m = 2, 1, 0, -1, -2$;	„d„ ხუთი
„ $l = 3$,	„ $m = 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$;	„f„ შვიდი.

მაშასადამე, მაგნიტური კვანტური რიცხვისათვის შესაძლებელია $2l+1$ მნიშვნელობები, ანუ ორბიტული მომენტის ორიენტაციათა სიმრავლე $2l+1$ მნიშვნელობებით განისაზღვროს. ხოლო მაგნიტური კვანტური რიცხვის (m) უარყოფითი მნიშვნელობა გაპირობებულია იმით, რომ ამ დროს m -ის შესაბამისი ვექტორი განლაგებულია მაგნიტური ველის საპირდაპიროდ.

ზემოაღნიშნული ელექტრონის მოძრაობის რაოდენობის ორბიტულ მომენტის (l) გარდა ელექტრონს საკუთარი ღერძის გარშემო ბრუნვის მომენტიც ახასიათებს როგორც ატომში მიმოქცევის დროს, ისე თავისუფალ მდგომარეობაში. ამ მეოთხე კვანტურ რიცხვს ეწოდება სპინი (Spin—ბრუნვა) და აღინიშნება S სიმბოლოთი. ვინაიდან სპინ-მომენტს მაგნიტური ველის მიმართ შეიძლება ორი მიმართულება ჰქონდეს, სპინს შეიძლება ჰქონდეს ორი $+1/2$ ან $-1/2$ მნიშვნელობები. ელექტრონის მაგნიტური თვისებები გაპირობებულია ელექტრონის ბრუნვით საკუთარი ღერძის ირგვლივ. ასე, მაგალითად, თუ ორი ელექტრონის სპინი ერთნაირია, მაშინ მათი მაგნიტური ველი პარალე-

S S
ლური იქნება $\uparrow \uparrow$, თუკი საპირდაპირო, მაშინ ელექტრონების მაგნიტუ-
N N

S N
რი ველი ანტიპარალელურ მიმართულებას $\uparrow \downarrow$ მიიღებს. ამრიგად —
N S

ელექტრონის ენერგეტიკული მდგომარეობა და მისი მოძრაობის ფორმები ატომში ზემოაღნიშნული ოთხი კვანტური რიცხვით (n, l, m და S -ით) ხასიათდება.

1925 წელს წამოყენებული ვ. პაულის პრინციპის თანახმად. მოცემულ ატომში ყველა ელექტრონს ერთმანეთისაგან განსხვავებული ენერგეტიკული მდგომარეობა უნდა ახასიათებდეს, სხვანაირად რომ ვთქვათ, ატომში არ არსებობს ორი ელექტრონი ოთხივე კვანტური რიცხვის ერთნაირი მნიშვნელობით.

ატომში ოთხივე კვანტური რიცხვის ერთნაირი მნიშვნელობით შეიძლება არსებობდეს მხოლოდ ერთი ელექტრონი. საერთოდ კი ატომში ელექტრონები უნდა განსხვავდებოდნენ ერთ-ერთი კვანტური რიცხვის მნიშვნელობით მაინც. ამრიგად, ოთხივე კვანტურ რიცხვს შორის მტკიცე კავშირი არსებობს, რაც გამოიხატება იმაში, რომ მთავარი კვანტური რიცხვი n -ის ყოველ მნიშვნელობას სხვა კვანტური რიცხვების მხოლოდ გარკვეული მნიშვნელობანი შეესაბამება.

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კვანტური რიცხვების შესაძლო კომბინაციების მაგალითი, როცა მთავარი კვანტური რიცხვი $n=1; 2$, მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

კვანტური რიცხვების შესაძლო კომბინაციები, როცა $n=1$ და $n=2$

n	l	m	S	ენერგეტიკული დონის აღნიშვნა	ელექტრონთა შესაძლო რაოდენობა გარე- შე- ში	ელექტრონის გარე- აღნიშვნელი სიმბოლოები
1	0	0	$\pm \frac{1}{2}$	1 s	$2l+6=8$	K
2	0	0	$\pm \frac{1}{2}$	2 s		
2	1	1	$\pm \frac{1}{2}$	2 p		
2	1	0	$\pm \frac{1}{2}$	2 p		
2	1	-1	$\pm \frac{1}{2}$	2 p		

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ელექტრონთა საერთო რიცხვი თითოეულ გარეში უდრის $2n^2$ -ს.

ამრიგად, მენდელეევის ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულ სისტემის ელემენტთა გარეში ელექტრონთა მაქსიმალური 2; 8; 18; 32 რიცხ-

ვებით გარსის შევსებულობის პერიოდულობის საკითხს კარგად განსაზღვრავს ატომის აღნაგობის კვანტური თეორია. აქვე აღსანიშნავია, რომ ატომური ნომრის გადიდებასთან ერთად ელექტრონებით გარსების ყოველი ახალი შევსებისას ყოველი ახალი დამატებული ელექტრონი ჯერ კიდევ შეუვსებლად დარჩენილ ადგილებიდან მინიმალური (უმდაბლესი) ენერგეტიკული დონის მქონე ადგილების დაკავებისაკენ მიისწრაფის, რადგან მხოლოდ ამ დროს მყარდება მტკიცე ბმა (კავშირი) მოცემულ ელექტრონსა და ატომბირთვს შორის. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ორბიტულ კვანტურ რიცხვს $l=0; 1; 2; 3$ მნიშვნელობების განსაზღვრული ენერგეტიკული მდგომარეობა შესაბამისად გამოიჩატება S, P, d, f ენერგეტიკული დონეებით. ენერგეტიკული დონის აღმნიშვნელი S, P, d, f სიმბოლოების წინ იწერება მთავარი კვანტური რიცხვის რიცხვითი მნიშვნელობები $1S, 2S, 2P, 3S, 3P, 3d...$ ელემენტიდან ელემენტზე მიმდევრულად გადასვლისას რიგობრივი ნომრის Z -ის გადიდებასთან ერთად პირველყოფილისა ის გარსები შეივსება ელექტრონებით, რომლებიც უფრო ახლოს მდებარეობენ ატომბირთვთან, ასეთი თანმიმდევრობით S^2, P^6, d^{10} და ა. შ. რომელთა ხარისხის მაჩვენებელი, გვიჩვენებს ელექტრონის რაოდენობას მოცემულ ქვეჯგუფის ორბიტაზე. ატომის ელექტრონული გარსის ელექტრონებით მთლიანი შევსებისას ვღებულობთ შეკრულ გარსს. ელექტრონებით შევსებული გარე (სავალენტო) გარსის (ე. ი. შეკრული გარსის) მქონე ელემენტების გარე გარსის ელექტრონები გაცილებით მტკიცედ არიან დაკავშირებული ატომბირთვთან, ვიდრე შეუვსებელი გარე გარსში მყოფი ელექტრონები. ამრიგად, გარე გარსის ელექტრონებით შევსება ქმნის ელექტრონთა უაღრესად მტკიცე სისტემას, რითაც აიხსნება ე. წ. კეთილშობილი (ინერტული) აირების ქიმიური ინერტულობა ნორმალურ მდგომარეობაში.

ზემოაღნიშნულის შემდეგ შეიძლება განვიხილოთ ატომებში ელექტრონთა გარსების შევსების მიმდევრობა. მაგალითად, წყალბად-ატომს ერთი ელექტრონი აქვს $1S^1$ მდგომარეობაში. აქ წინა ციფრი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, 1 გვიჩვენებს მთავარი კვანტური რიცხვის მნიშვნელობას $n=1$, ხოლო სიმბოლო S გამოხატავს ელექტრონულ ქვეჯგუფს, რომელიც განსაზღვრულ ელექტრონმა დაიკავა. წყალბად-ატომს ერთი ელექტრონი აქვს და, მასასადამე, შეუვსებელი გარსი აქვს და ერთ ვალენტობას იჩენს.

ჰელიუმს ორი ელექტრონი აქვს. პატულს პრინციპის თანახმად, ერთ ენერგეტიკულ დონეზე K -გარსზე (K -ჯგუფში) განლაგდება ჰელიუმის ორივე ელექტრონი საპირდაპირო სპინით, რაც $1S^2$ სახით ჩაი-

წერება, სადაც S^2 ნიშნავს ორ ელექტრონს S მდგომარეობაში. ყოველი ელემენტის K -გარსი მხოლოდ ერთ S -ქვეჯგუფისაგან შედგება, სადაც შეიძლება, მაქსიმუმ, ორი ელექტრონი განლაგდეს, მაშასადამე, ორი ელექტრონის $1S^2$ მდგომარეობაში განლაგებით მთავრდება K -გარსის შევსება, რომელიც წარმოადგენს უაღრესად მტკიცე სისტემას.

ლითიუმის საში ელექტრონი აქვს. ვინაიდან ყოველი ელემენტისათვის K -გარსის შევსება მთავრდება ორი ელექტრონის $1S^2$ მდგომარეობაში განლაგებით, ამიტომ ლითიუმის მესამე ელექტრონმა უნდა დაიკავოს L -გარსის $2S$ ენერგეტიკული დონე, რომლითაც იწყება 2 ენერგეტიკული დონის (ქვეჯგუფის) შევსება. ამრიგად, ლითიუმის გარე გარსში ერთი ელექტრონია განლაგებული და იგი ერთვალენტია.

ლითიუმ-ატომის ელექტრონულ გარსში ელექტრონთა განლაგება ჩაიწერა ასე: $1S^2 2S^1$. მეორე L -გარსის თანდათანობით მთლიანი შევსება მთავრდება მის ქვეჯგუფებში 8 ელექტრონის განლაგებით. მომდევნო ელემენტის ბერილიუმის ($Z = 4$) გარსის ელექტრონების აღნაგობა შემდეგია: $1S^2 2S^2$. ამ მწკრივის მომდევნო ელემენტ ბორიდან ($Z = 5$) იწყება $2P$ -დონის შევსება. ბორის გარსის ელექტრონების აღნაგობა იქნება: $1S^2 2S^2 2P^1$, ე. ი. ბორის ატომში მეხუთე ელექტრონი ახალ $2P$ ქვეჯგუფში განლაგდა. P ქვეჯგუფში ელექტრონების მაქსიმალური რიცხვი 6 -ს აღწევს, რომლებიც x -, y - და Z ღერძის გასწვრივ ორიენტირდებიან

$\begin{matrix} z \\ \diagdown \\ \diagup \\ x \end{matrix}$ — y და მოცემული რიგის (x -, y -, z) მიხედვით განლაგდებიან. ამიტომ

ბორიდან მომდევნო ელემენტ ნახშირბადის ელექტრონულ გარსში ელექტრონთა განლაგება ჩაიწერება ასე: $1S^2 2S^2 2P^2$ ან $1S^2 2S^2 2P_x^1 2P_y^1$, ხუნდის წესის თანახმად, ელექტრონული გარსის მეორე ($1S^2 2S^2 2P_x^1 2P_y^1$) აღნაგობას უნდა მიეცეს უპირატესობა. ხუნდის წესი ექსპერიმენტის შედეგებიდან გამომდინარეობს და მდგომარეობს შემდეგში:

ა) ელექტრონები ცდილობენ არ განლაგდნენ ერთსა და იმავე ორბიტზე, რამდენადაც ეს შეესაბამება ენერგეტიკულ მოთხოვნილებას;

ბ) ორბიტზე ცალ-ცალკე განლაგებულ ელექტრონებს ერთნაირი სპინი აქვთ. ასეთ ელექტრონებს შეუწყვილებელი ეწოდებათ. მაშასადამე, აზოტის ($Z = 7$) ელექტრონული გარსის აღნაგობა იქნება: $1S^2 2S^2 2P_x^1 2P_y^1 2P_z^1$. ხოლო ჟანგბადის ($Z = 8$) შემთხვევაში, რადგან ახალი ელექტრონისათვის დაბალი ენერგეტიკული დონის მქონე ვაკანსური ორბიტა არ არის, ამიტომ სპინების შეწყვილება უნდა მოხდეს P — ორბიტზე და მისი ელექტრონული გარსის აღნაგობა იქნება: $1S^2 2S^2 2P_x^2 2P_y^1 2P_z^1$, ფტორისა ($Z = 9$) —

$1S^22S^22P_x^22P_y^22P_z^2$, ხოლო ამ მწკრივს უკანასკნელ ელემენტს ნეონისა ($Z = 10$) კი — $1S^22S^22P_x^22P_y^22P_z^2$. ნეონის შემთხვევაში დაბალი ენერჯეტიკული დონის მქონე ყველა ორბიტა შევსებულია. ნეონის შეკრულ გარსით მთავრდება მეორე კვანტური შრის შევსება და მეორე პერიოდი, ამიტომ იგი ქიმიურად ინერტულია.

ელემენტ ნატრიუმიდან ($Z = 11$) იწყება მესამე მცირე პერიოდი და მომდევნო მესამე M -გარსის შევსება. ნატრიუმის გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია: $1S^22S^22P_x^22P_y^22P_z^23S^1$. ნატრიუმის შემთხვევაში გარე გარსზე მხოლოდ ერთი ელექტრონია განლაგებული და იგი ლითიუმის ანალოგიურად ერთელენტია და ქიმიური თვისებებითაც მისი მსგავსია. მესამე M -გარსის თანდათანობით მთლიანი შევსება მთავრდება მესამე პერიოდის უკანასკნელი ელემენტით არგონით, რომლის ელექტრონული გარსის აღნაგობაა: $1S^22S^22P^63S^23P^6$. არგონის შეკრულ გარსით მთავრდება მესამე კვანტური გარსის შევსება და მესამე პერიოდი.

ელემენტ კალიუმით ($Z = 19$) იწყება მეოთხე დიდი პერიოდი და მეოთხე N -გარსის შევსება. მისი გარსის ელექტრონების აღნაგობაა: $1S^22S^22P^63S^23P^63d^04S^1$. როგორც ჩანს, კალიუმის მეცხრამეტე სავალენტო ელექტრონი განლაგდა არა 10 სავაქანსო ადგილის მქონე $3d$ ენერგეტიკულ დონეზე, არამედ $4S$ დონეზე. ეს იმით აიხსნება, რომ $4S$ მდგომარეობა ენერგეტიკულად უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე $3d$ მდგომარეობა.

კალიუმის მომდევნო ელემენტი კალციუმის ($Z = 20$) გარსის ელექტრონების აღნაგობაა: $1S^22S^22P^63S^23P^63d^04S^2$. როგორც ჩანს, კალციუმის ორი სავალენტო ელექტრონი განლაგდა $4S$ დონეზე.

განხილული ორივე ელემენტი მოთავსებულია მთავარ ქვეჯგუფში. მაშასადამე, მთავარი ქვეჯგუფის ელემენტების მორიგი ელექტრონი განლაგდება გარე გარსის S ან P ენერგეტიკულ დონეზე. მათი რიცხვი (S^2P^6) უდრის 8 -ს და მთავარი ქვეჯგუფის რაოდენობაც უდრის 8 .

კალციუმის მომდევნო ელემენტი სკანდიუმი ($Z = 21$) თანაქვეჯგუფის პირველი ელემენტია, რომლის მორიგი ელექტრონი განლაგდება უკვე $3d$ დონეზე. სკანდიუმის გარსის ელექტრონების აღნაგობა: $1S^22S^22P^63S^23P^63d^14S^2$. ასეთია 10 ელემენტი ($Sc-Zn$), რომელთა ატომებში მიმდინარეობს d ქვეჯგუფის თანდათანობით შევსება ელექტრონებით. გარდამავალი ელემენტების მეოთხე დიდი პერიოდის უკანასკნელი ელემენტის თუთიის ($Z = 30$) გარსის ელექტრონების აღნაგობაა: $1S^22S^22P^63S^23P^63d^{10}4S^2$.

1 სიმარტივისათვის P ქვეჯგუფში ელექტრონების განლაგებას შეჯამებულად ვიძლევი.

მეოთხე დიდი პერიოდის მთავარი ჯგუფის დანარჩენ ექვს ელემენტში (Ca—Kr) განახლება ელექტრონებით 4P-გარსის თანდათანობით შევსება, და უკანასკნელი ელემენტის ინერტული გაზის კრიპტონის ($Z = 36$) გარსის ელექტრონების აღნაგობა იქნება: $1S^2 2S^2 2P^6 3S^2 3P^6 3d^{10} 4S^2 4P^6$. მეოთხე დიდი პერიოდი შეიცავს 18 ელემენტს. მეოთხე დიდი პერიოდის განხილვიდან ჩანს, რომ თანაქვეჯგუფის ელემენტების მორიგი ელექტრონები თანდათანობით განლაგდებიან გარე კვანტური გარსის წინა d ქვეჯგუფში, ხოლო გარე გარსში ელექტრონების რაოდენობა უცვლელი რჩება. ეს იმით აიხსნება, რომ მეორე და მესამე მცირე პერიოდებისაგან განსხვავებით მეოთხე დიდი პერიოდი ლითონების გრძელ მწკრივს შეიცავს; მცირე პერიოდებში მომდევნო ელემენტების გარე გარსის ელექტრონების რაოდენობა იცვლება, ამასთან დაკავშირებით ელემენტის თვისებაც სწრაფად იცვლება. მაგალითად, მესამე პერიოდის მეოთხე ელემენტი სილიციუმი უკვე არალითონია. დიდ პერიოდებში კი გარე გარსის წინა გარსში ელექტრონების რაოდენობის გაზრდით ელემენტთა ქიმიური თვისებები შედარებით მცირედ იცვლება, მხოლოდ 3d დონის ელექტრონებით 10-მდე შევსების შემდეგ, როდესაც დაიწყება გარეგარსის ელექტრონების რაოდენობის გაზრდა, ლითონის თვისებების მქონე ელემენტები სწრაფად უთმობენ ადგილს არალითონებს.

მეხუთე პერიოდის ატომების გარსების ელექტრონებით შევსება მეოთხე პერიოდის ანალოგიურად მიმდინარეობს.

მეხუთე პერიოდის საწყის ელემენტებში რუზადიუსა და სტრონციუმში იწყება 5S ქვეჯგუფში ელექტრონების განლაგება, ხოლო იტრიუმიდან კადმიუმამდე კი 4d ქვეჯგუფში განლაგდება ელექტრონები. იტრიუმიდან დაწყებული მეხუთე პერიოდის ბოლომდე -- ქსენონამდე ელექტრონები თანდათანობით განლაგდებიან 5P ქვეჯგუფში. უკანასკნელი ელემენტის ინერტული გაზის ქსენონის ($Z = 54$) გარსის ელექტრონების აღნაგობაა: $1S^2 2S^2 2P^6 3S^2 3P^6 3d^{10} 4S^2 4P^6 4d^{10} 5S^2 5P^6$. მეექვსე პერიოდის საწყისი ელემენტების (ცეზიუმი და ბარიუმი) ელექტრონული გარსის აღნაგობა ანალოგიურია მეხუთე პერიოდის საწყისი ელემენტებისა. ამიტომ Cs და Ba, Rb და Sr-ის ანალოგებია. მათი სავალენტო ელექტრონები განლაგებულია 6S ქვეჯგუფში, ხოლო 5d¹⁰ და 4f¹⁴ ქვეჯგუფები შეუვსებელია. ბარიუმის მომდევნო თანაქვეჯგუფის ელემენტი ლანთანის ახალი ელექტრონი 5d ქვეჯგუფში განლაგდება. ამის შემდეგ მიდის 14 იშვიათი მიწათა ელემენტები ($Z = 58 - 71$), ე. წ. ლანთანიდები. მათი ვალენტობა თითქმის ერთნაირია და ქიმიური თვისებებითაც მეტად მსგავსნი არიან, იმის გამო, რომ მათი რიგობრივი რიცხვის გადიდებისას ხდება $n = 4$

ელექტრული გარსის შევსება, სადაც ელექტრონების მაქსიმალური რიცხვი 4 n დონეზე 14-ს აღწევს, რაც უმნიშვნელო გავლენას ახდენს ელემენტის ქიმიურ თვისებებზე.

მეშვიდე პერიოდი მეექვსეს ანალოგიურია. აქ გარდამავალი ელემენტებია აქტიონიდები. აქტიონიდების შემდეგ ელემენტებში ხდება 5 f ქვეჯგუფის გარსების მიმდევრული შევსება. აქვე აღსანიშნავია, რომ ატომბირთვთან ახლოს განლაგებული ელექტრონები ელემენტების ქიმიურ თვისებებზე გაცილებით ნაკლებ გავლენას ახდენენ. ვიდრე გარე გარსზე განლაგებულნი, რადგან ატომბირთვთან ახლოს განლაგებული ელექტრონები ატომბირთვთან უფრო მტკიცედ არიან დაკავშირებული. სწორედ აქედან გამომდინარეობს მენდელეევის მიერ მოცემული პერიოდულობის კანონი, რომლის მიხედვით ელემენტთა თვისებების პერიოდული ცვლილება სრულ შესაბამისობაშია მსგავს ელექტრონულ აღნაგობასთან, რომელიც უფრო და უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე პერიოდულად მეორდება. ამრიგად, მენდელეევის პერიოდულობის კანონი დაკავშირებულია მთავარ კვანტურ რიცხვ n -თან. ხოლო ყოველ პერიოდში ელემენტთა რაოდენობა დაკავშირებულია ელექტრონთა რიცხვთან, რომელიც მოცემულ ენერგეტიკულ დონეს ავსებს. ასე, მაგალითად, პირველი პერიოდის ელემენტების — წყალბადისა და ჰელიუმის ელექტრონები K -გარსის ერთადერთ უმდაბლეს ენერგეტიკულ დონეს $n=1$, ანუ $1S$ ქვეჯგუფს ავსებს. ეს პერიოდი იწყება წყალბადით და მთავრდება ჰელიუმით, ანუ K -გარსის 2 ელექტრონით შევსებით მთავრდება ეს პერიოდი.

მეორე პერიოდის მთავარი კვანტური რიცხვი $n=2$. ამ პერიოდის L -გარსის $2S$ და $2P$ დონეებში 8 ელექტრონის განლაგებით მთავრდება მეორე პერიოდი. მეორე პერიოდი იწყება ლითიუმით და მთავრდება ნეონით.

მესამე პერიოდისათვის მთავარი კვანტური რიცხვი $n=3$, ელემენტების გარეგარსებში ელექტრონების $3S$ და $3P$ დონეებით. ამ პერიოდის M გარსის შევსება მთავრდება 8 ელექტრონის განლაგებით, ხოლო K , L და M გარსების შევსება კი 18 ელექტრონის განლაგებით. მესამე პერიოდი იწყება ელემენტ ნატრიუმით და მთავრდება არგონით და ა. შ. აქედან გამომდინარე, ელემენტების ქიმიური თვისებების ძირითადი განმსაზღვრელია გარეგარსის ელექტრონები — სავალენტო ელექტრონები, რომლებიც ყველაზე სუსტად არიან დაკავშირებული ატომბირთვთან, ხოლო პერიოდულობის კანონის ფიზიკური შინაარსი ის არის, რომ ატომის რიგითი ნომრის (Z -ის) მატებასთან ერთად ატომის გარეგარსზე განლაგებული ელექტრონების

რიცხვი და, მაშასადამე, ელემენტების ქიმიური თვისებები პერიოდულად მეორდება.

ატომის ელექტრონული გარსი საკმაოდ მტკიცე სისტემაა და ამიტომ ელექტრონს თვითნებურად არ შეუძლია მოსცილდეს ატომს. ატომის ელექტრონული გარსიდან ელექტრონის ამოტყორცნა შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ატომმა რენტგენის ან γ -სხივების, ელექტრონების დაჯახებით, სინათლის შთანთქმით, თერმული მოქმედებით და სხვ. ენერგია მიიღო გარედან და თუ იგი აგზნებულ მდგომარეობაში გადავიდა. მაგრამ აგზნების ენერგია თუ საკმარისი არ აღმოჩნდა ელექტრონის ამოსატყორცნად, მაშინ იგი აგზნებულ მდგომარეობიდან 10^{-8} – 10^{-6} წამის დიაპაზონში ისევ ნორმალურ მდგომარეობაში გადადის, ე. ი. მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე გადასული ელექტრონები უკან დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე ეშვებიან და ასხივებენ ენერგიის იმ რაოდენობას, რომელიც მისი აგზნებისათვის დაიხარჯა. თუკი გარედან მიღებული და ატომის აგზნებისათვის დახარჯული ენერგია საკმაოდ დიდი იყო, იგი გამოიწვევს ელექტრონის მთლიანად ამოტყორცნას და წარმოიქმნება დადებითად დამუხტული ნაწილაკი — დადებითი იონი.

ელექტრონული გარსიდან ელექტრონის ამოტყორცნის პროცესს იონიზაცია ეწოდება. ამოტყორცნილი ელექტრონი ნეიტრალური ატომთან (მოლეკულასთან) დაჯახებისას უერთდება მას და წარმოქმნის უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკს — უარყოფით იონს. დადებითი და უარყოფითი იონები შეიძლება ერთმანეთს დაეჯახონ (განსაკუთრებით აირების შემთხვევაში) და ხელახლა წარმოქმნან ნეიტრალური ატომები (მოლეკულები). იონებიდან ნეიტრალური ატომების წარმოქმნის პროცესს რეკომბინაცია ეწოდება. ამ დროს იონიზაციისათვის დახარჯულ ენერგიას ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სახით უკანვე ასხივებენ.

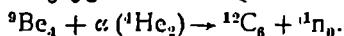
აქვე აღსანიშნავია, რომ ელექტრონების ენერგეტიკულ დონეთა ცვლილებებს გარკვეული სპექტრის ხაზები შეესაბამება. გამოსხივების სპექტრი დამახასიათებელია თითოეული სახის ატომისათვის და არაა დამოკიდებული აგზნების ხერხზე. ასე რომ, გამოსხივების სპექტრის ხასიათის მიხედვით შეიძლება გამომსხივებელი ატომის ბუნების განსაზღვრა (სპექტრალური ანალიზი).

2. ატომბირთვის აღნაგობა. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ატომბირთვში ატომის თითქმის მთელი მასაა თავმოყრილი და მას ატომის მოცულობის უმნიშვნელო ნაწილი უჭირავს. მკვლევარების ყურადღება მიპყრობილი იყო ელემენტთა ატომბირთვის შესწავლისაკენ.

1930 წელს რეზერფორდის მოწაფეებმა ბეტემ და ბეკერმა დაადგინეს, რომ ბერილიუმზე (Be) ალფა-ნაწილაკების მიშენისას მისგან ახალი ნაწილაკების წაკადი გამოიყო, რომელსაც მაშინ ბერილიუმის სხივები უწოდეს. ეს სხივები ძლიერ შემღწევალია.

1932 წელს ახალგაზრდა ინგლისელმა მეცნიერმა ჩედვიკმა საბოლოოდ დაადგინა, რომ ე. წ. ბერილიუმის სხივები წარმოადგენენ ელექტრონეიტრალური ნაწილაკების წაკადს. ამ ნაწილაკებს ეწოდება ნეიტრონი და აღინიშნება n-სიმბოლოთი. ნეიტრონი ლათინური სიტყვაა და სიტყვა-სიტყვით ნიშნავს: არც ის, არც სხვა; ამ შემთხვევაში არც დადებით და არც უარყოფით ნაწილაკს ნიშნავს.

ბერილიუმზე ალფა-ნაწილაკების მიშენით ნეიტრონი მიიღება შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:



ნეიტრონის (n) მასა უდრის 1,00894 ეანგბადოვან ერთეულში.

იმავე 1932 წელს გამოჩენილმა რუსმა ფიზიკოსმა დ. დ. ივანენკომ გამოთქვა აზრი, რომ ატომბირთვი შედგება მხოლოდ ძვირე ნაწილაკებისაგან — პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან — ნუკლეონებისაგან, რომლებსაც არაელექტრომაგნიტური, არამედ ატომბირთვული ძალები აკავშირებენ. ამ ძალების მოქმედების სფერო განსაზღვრავს ატომბირთვის მოცულობას, რაც შემდეგში მთლიანად დადასტურდა. ნუკლონი ლათინური სიტყვაა და ბირთვის შემადგენელ ნაწილაკს ნიშნავს, განურჩევლად იმისა, რომელი იქნება — პროტონი თუ ნეიტრონი.

ატომბირთვის აღნაგობის ნუკლეონურმა თეორიამ დიდი როლი შეასრულა ატომბირთვული ფიზიკის განვითარებაში. ნუკლეონური თეორიის დახმარებით შესაძლებელი გახდა ატომბირთვის მთელი რიგი თვისებების გარკვევა.

ატომბირთვის აღნაგობის მრავალი თეორიებიდან ატომბირთვის აღნაგობას უფრო სწორად ასახავს წარმოდგენები ნუკლეონებისა და ველის შესახებ, რომელთა მიხედვით ატომბირთვი შედგება ატომბირთვული ძალებით შეკავშირებული პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან (ნუკლეონებასაგან), ერთი მხრივ, და „ველისაგან“, მეორე მხრივ. ამ თეორიის მიხედვით, ნუკლეონებით შევსებული ატომბირთვი შედგება მეტად თუ ნაკლებად მდგრადი ატომბირთვის შიგა ცენტრისაგან, ანუ შიგა ნუკლეონებისაგან და ატომბირთვის შიგა ცენტრის, ანუ გულგულის ველში მოძრავი გარე ნუკლეონებისაგან.

გულგული წარმოადგენს ძალიან მკვიდროდ შეკავშირებულ ნუკლეონებს, ხოლო გულგულის ველში მოძრავი გარე ნუკლეონები შე-

დარებით სუსტად არიან შეკავშირებული. გარე ნუკლეონებისა და გულგულის ურთიერთმოქმედება იწვევს გულგულის დეფორმაციას, ეს კი — ველის ცვლილებას, რომელშიც ნუკლეონები მოძრაობენ და რომლითაც გაპირობებულია ნუკლეონების ურთიერთმოქმედება.

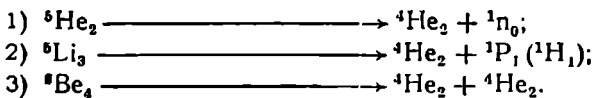
ატომბირთვი შედგება არა მარტო ნუკლეონებისაგან, ე. ი. პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან, არამედ იგი კიდევ სხვა ნაწილაკებს შეიცავს (ანტიპროტონს, ანტინეიტრონს და სხვ.), მაგრამ მათზე ჩვენ აქ არ შეეხერხებოდა, აღვნიშნავთ მხოლოდ იმას, რომ ატომბირთვის ძირითადი დამახასიათებელი სიდიდეებია: ატომბირთვის მუხტი — ატომური ნომერი Z , მასის რიცხვი A (ატომბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების წონათა ჯამს, გამოხატულს მთელ რიცხვებში, ეწოდება მასის რიცხვი A) და მასა M .

ატომური ნომერი Z -ის მნიშვნელობა შემდეგ დიაპაზონში მდებარეობს: $Z = 0$ (ნეიტრონი)-დან $Z = 104$ -მდე (კურჩატოვამდე). ატომური ნომერი Z -ის ზოგიერთი მნიშვნელობა ბუნებაში უშუალოდ არ გვხვდება. ასეთებია 43,61 და 94-დან 104-მდე ელემენტი ატომური ნომრით 43 — ტექნეციუმი ($^{98}\text{Tc}_{43}$) მიღებულ იქნა 1937 წელს, ხელოვნურად, — მოლიბდენზე ($^{94}\text{Mo}_{42}$) 5 მილიონ ელექტრონვოლტი ენერგიის მქონე დეიტრონებით ($^2\text{H}_1$) დაყუბარების საშუალებით. ელემენტი ატომური ნომრით 61 — პრომეთიუმი ($^{147}\text{Pm}_{61}$) ხელოვნურად გამოყოფილ იქნა ურანის დაშლის პროდუქტებიდან, ხოლო ელემენტები ატომური ნომრით 85 — ასტატინი (At) და 87 — ფრანციუმი (Fr), რომლებსაც უკანასკნელ ხანამდე ბუნებაში არარსებულად თვლიდნენ, მართალია, უმნიშვნელო რაოდენობით, მაგრამ ბუნებაში მაინც გვხვდებიან როგორც აქტინოურანის მწკრივის ერთ-ერთი განშტოების წევრები.

ელემენტი ფრანციუმი ($^{223}\text{Fr}_{87}$) ფრანგი მეცნიერი მ. პერეს მიერ 1939 წელს იქნა აღმოჩენილი როგორც აქტინო-ურანის მწკრივის ერთ-ერთი განშტოების წევრი, ხოლო ასტატინი (At) პირველად 1940 წელს მიღებულ იქნა ხელოვნურად ბისმუტის α -ნაწილაკებით დაყუბარების შედეგად: შემდეგ კი აღმოჩენილ იქნა როგორც აქტინო-ურანის მწკრივის ერთ-ერთი განშტოების წევრი. უდაოდ, ელემენტები ატომური ნომრით 43, 61, 93, ბუნებაში არსებობდნენ, მაგრამ ჩვენამდე ვერ მოაღწიეს თავიანთი სიცოცხლის ხანგრძლივობის სიმცირის გამო. დანარჩენი ელემენტები კი ატომური ნომრით 94-დან 104-მდე მხოლოდ ხელოვნურად არიან მიღებული.

მასის რიცხვები კი შემდეგ შუალედში იმყოფება: $A = 1$ (ნეიტრონი) და $A = 266$ (კურჩატოვიუმი). მასის რიცხვების ამ შუალედიდან არ გვხვდება მხოლოდ $A = 5$ და $A = 8$, რომლებსაც ძალიან არამდგრადი

ატომბირთვები შეესაბამება, როგორცაა ${}^6\text{He}_2$, ${}^5\text{Li}_3$ და ${}^8\text{Be}_4$. ეს ატომბირთვები იმდენად არამდგრადია, რომ მათზე დაკვირვება ლაბორატორიულ პირობებშიც ძნელია, და განიცილიან შემდეგ ატომბირთვულ გარდაქმნებს:



როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ატომბირთვები $A = 4n + 1$ ტიპის მასის რიცხვით, სადაც $A > 209$ (Bi-ის მასის რიცხვზე), ამჟამად ბუნებაში არ გვხვდება, ისინი ნუკლეონის ოჯახს მიეკუთვნებიან და მცირე სიცოცხლის ხანგრძლივობის გამო ჩვენამდე ვერ მოაღწიეს.

პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვის ჯამი გვაძლევს ელემენტის მასის რიცხვს, ე. ი.

$$A = P + n.$$

რადგან ატომური ნომერი — რიგობრივი ნომერი (Z) განსაზღვრავს ატომბირთვის შემცველ პროტონების (P) რიცხვს, მაშასადამე, სხვაობა მასის რიცხვსა და ატომბირთვის პროტონებს შორის იძლევა ნეიტრონების რიცხვს:

$$n = A - P.$$

მაგალითად, ურანის ატომბირთვი, რომლის $A = 238$ და $Z = 92$, შედგება 92 პროტონისა და $238 - 92 = 146$ ნეიტრონისაგან, ზოლო დეიტერიუმის (${}^2\text{H}_1$) $A = 2$ და $Z = 1$, შედგება 1 პროტონისა და $2 - 1 = 1$ ნეიტრონისაგან. ამრიგად, ყველაზე მსუბუქი სტაბილური წყალბადის (${}^1\text{H}_1$) გამოკლებით, სხვა ყოველგვარი ელემენტის ატომბირთვი შედგება რამდენიმე პროტონისა და ნეიტრონისაგან, რომელთაც, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, არა ელექტრომაგნიტური, არამედ ატომბირთვული ძალები აკავშირებთ. ამ ძალების მოქმედებებს სფერო განსაზღვრავს ატომბირთვის მოცულობას. ატომბირთვის რადიუსი r დაახლოებით ატომბირთვის მასის რიცხვის კუბიკური ფესვის $A^{1/3}$ პროპორციულია. მრავალი ექსპერიმენტული და გაანგარიშებით მიღებული მონაცემების მიხედვით, ატომბირთვის რადიუსის გაანგარიშებისათვის ყველაზე ზუსტ შედეგს იძლევა შემდეგი განტოლების გამოყენება:

$$r = 1,2 \cdot 10^{-13} \sqrt[3]{A} \text{ სმ.}, \quad (1-3)$$

სადაც A მასის რიცხვია. ამ ფორმულით გაანგარიშებული ატომბირთვის რადიუსი ყველა ელემენტისათვის ზუსტია, მხოლოდ რამდენიმე პროცენტ ცდომილებას იძლევა $Z - 12$ დან $Z - 15$ -მდე, ე. ი. Al, Si და P შემთხვევაში. აღნიშნული ფორმულიდან მიღებული ატომბირთვის რადიუსი $10^{-12} - 10^{-13}$ სმ რიგისაა. აქედან ჩანს, რომ ატომბირთვული ნივთიერე-

ბის სიმკვრივე აღწევს 10^{14} — 10^{16} გრამს კუბურ სანტიმეტრზე, ე. ი. 10^8 - 10^9 ტონას 1 სმ³.

8. ატომბირთვული ძალები. ატომბირთვული მიზიდულობის ძალების თავისებურება ის არის, რომ ისინი ძალიან ახლო მანძილზე, დაახლოებით 10^{-12} — 10^{-13} სმ დიაპაზონში მოქმედებენ. ბირთვული მიზიდულობის ძალები არ დაიყვანება არც ელექტროსტატიკურ და არც ელექტრომაგნიტურ ძალებამდე. ბირთვული მიზიდულობის ძალები ბირთვის მოცულობის ფარგლებში ბევრად აღემატება კულონის ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალას. ატომბირთვული ძალების ამ თავისებურებით აიხსნება ის, რომ ატომბირთვულ ნივთიერებათა სიმკვრივე ძალიან დიდია. მაგალითად, ერთი კუბური სანტიმეტრი მოცულობა მთლიანად რომ გავავსოთ ურანის ატომბირთვებით, იგი დაახლოებით 116 მილიარდ ტონას აიწონის.

დადგენილია, რომ ატომბირთვის შემცველ ნაწილაკებს შორის მოქმედი ატომბირთვული მიზიდულობის ძალები თითქმის ტოლია; ცოტათი მეტია პროტონებსა და ნეიტრონებს (P—n) შორის, ვიდრე პროტონებს (P—P) შორის და ნეიტრონებს (n—n) შორის. პროტონებსა და ნეიტრონებს შორის, და ნეიტრონებსა და ნეიტრონებს შორის ატომბირთვული მიზიდულობის ძალები დაახლოებით ერთნაირია.

ამრიგად, თითოეული ნუკლონი ურთიერთმოქმედებს ატომბირთვულ შემცველ არა ყველა ნუკლონზე, არამედ მხოლოდ ახლო მყოფთან (გაჯერების თვისება). აქვე აღსანიშნავია ვ. მამასახლისოვის აზრი იმის შესახებ, რომ ახლო მანძილზე ნეიტრონი და პოზიტრონი არა მარტო მიიზიდავენ ერთმანეთს, არამედ რაღაც მანძილზე მათ შორის განზიდვაც ხდება, რასაც სიცხადე შეაქვს მძიმე ატომბირთვების უმდგრადობის საკითხში. ატომბირთვული ძალების ეს თვისება კარგადაა ასახული (1—1) განტოლებაში.

ყოველივე აღნიშნული იმის საფუძველია, რომ ატომბირთვში მუდმივად წარმოებს ნუკლონების ნეიტრონული მდგომარეობიდან პროტონულში გადასვლა (ატომბირთვული ძალების მიმოცვლა); საფიქრებელია, რომ ასეთი მიმოცვლა წარმოებს მეზონების¹ მონაწილეობით. მეზონის მუხტი სიდიდით ელექტრონის მუხტის ტოლია; მასა კი უდრის 200-ს ელექტრონის მასის ერთეულში. წარმოადგენენ დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ელემენტარულ ნაწილაკებს.

¹ ერთნაირ მდგომარეობაში მყოფი ორი ან რამდენიმე ფოტონის შეჯახებით მიღებულ ნაწილაკებს მეზონები ეწოდება; მეზონები წარმოადგენენ შედარებით დიდი მასის მქონე ელემენტარულ ნაწილაკებს, რომელთა მასა პროტონისა და ელექტრონის მასათა შორის ძევს; მეზონი ბერძნული სიტყვაა და საშუალოს ნიშნავს. მეზონები უმდგრადი ელემენტარული ნაწილაკებია.

4. ელემენტარული ნაწილაკები. ცნება „ელემენტარული ნაწილაკი“ შეესაბამება მარტივ ნაწილაკს, რომელიც არ შედგება სხვა, უფრო მკირე ნაწილაკებისაგან. ყოველი „ელემენტარული ნაწილაკი“ ელემენტარულია მხოლოდ ჩვენი ცოდნის განსაზღვრულ საფეხურზე, როდესაც ჯერ კიდევ არაა ცნობილი მისი აღნაგობა. მომავალში ახლანდელი ელემენტარული ნაწილაკები, ატომბირთვის ანალოგიურად, შეიძლება აღმოჩნდეს რთული აღნაგობისა და, ამრიგად, ცნება „ელემენტარული ნაწილაკი“ დროებითი, ფარდობითი და დაახლოებითი ხასიათის მქონე ცნებად უნდა ჩაითვალოს. როგორც ვ. ი. ლენინი გვასწავლის, „ელექტრონი ისე ამოუწურავია, როგორც ატომი, ბუნება უსასრულია, მაგრამ იგი დაუსრულებელივ არსებობს...“¹. ვ. ი. ლენინის ეს აზრი ბრწყინვალედ დაადასტურა თანამედროვე მეცნიერებამ.

ამჟამად ცნობილია 30-ზე მეტი ელემენტარული ნაწილაკი (ფოტონები, ლეპტონები, სხვადასხვა სახის მეზონები და პიპერონები), რომელთაგან შედგება ყველა სახის ნივთიერება.

მასის მიხედვით, ელემენტარული ნაწილაკები იყოფა სამ ჯგუფად:

1. მძიმე ნაწილაკები—პროტონები და ნეიტრონები (ნუკლეონები). პროტონი დადებითად დამუხტული ნაწილაკია, მასით 1,00758 ატომური ერთეული, რომლის სპინი (მოძრაობის რაოდენობის მომენტი) $1/2$ -ის ტოლია; ატომბირთვი ბეტა-პოზიტრონულ გარდაქმნას განიცდის შემდეგი სქემის მიხედვით: ${}^1P_1 \rightarrow {}^1n_0 + e_0^+ + \nu_0$, ე. ი. გარკვეულ პირობებში პროტონის დაშლით მიიღება ნეიტრონი, პოზიტრონი და ნეიტრინო (ბეტა-ელექტრონული გარდაქმნის დროს შებრუნებულ პროცესს აქვს ადგილი ${}^1n_0 + \nu_0 \rightarrow {}^1P_1 + \beta^-$).

ნეიტრონი ელექტრონეიტრალური ნაწილაკია. მისი მასა უდრის 1,00894 ატომურ ერთეულს, რომლის სპინი $1/2$ -ის ტოლია. ატომბირთვი ბეტა-ელექტრონულ გარდაქმნას განიცდის შემდეგი სქემის მიხედვით: ${}^1n_0 \rightarrow {}^1P_1 + e_0^- + \bar{\nu}_0$, ე. ი. გარკვეულ პირობებში ნეიტრონის დაშლით მიიღება პროტონი, ელექტრონი და ნეიტრინო (ბეტა-პოზიტრონული გარდაქმნის დროს შებრუნებულ პროცესს აქვს ადგილი ${}^1P_1 + \nu_0 \rightarrow {}^1n_0 + \beta^+$).

საკვიროა აღინიშნოს, რომ თავისუფალ მდგომარეობაშიც ნეიტრონი თვითდაშლას განიცდის — გარდაიქმნება პროტონად და ელექტრონად. მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 12,8 წუთს, რომელიც ექსპერიმენტულად არის დადგენილი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ნეიტრონი პროტონსა და ელექტრონს შეიცავს, ხოლო პროტონი კი —

¹ ვ. ი. ლენინი. თხზ., მე-4 გამოც., ტ. 14, გვ. 332.

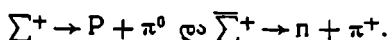
ნეიტრონსა და პოზიტრონს. ამრიგად, ბეტა-დაშლის დროს საქმე გვაქვს ერთი მატერიალური ნაწილაკის სხვადასხვა მატერიალურ ნაწილაკად გარდაქმნის პროცესთან, რომლებიც თავიანთი ბუნებით და თვისებებით განსხვავებული არიან წარმომქმნელ ელემენტარულ ნაწილაკის ბუნებისა და თვისებებისაგან.

მძიმე ნაწილაკებს მიეკუთვნება აგრეთვე ჰიპერონი ლამბდა, ჰიპერონი სიგმა და ჰიპერონი ქსი.

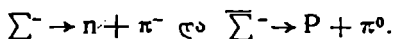
ლამბდა-ნული λ და $\bar{\lambda}$. როგორც ლამბდა ნაწილაკის λ , ისე ანტინაწილაკის $\bar{\lambda}$ სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია. უმუხტონი არიან. თითოეული მათგანის მასა უდრის 2182,8 ელექტრონის მასის ერთეულში. სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\simeq 2,5 \cdot 10^{-10}$ წამს. იშლებიან შემდეგი სქემის მიხედვით:



სიგმა-პლუსი Σ^+ და $\bar{\Sigma}^+$. როგორც სიგმა ნაწილაკის Σ^+ , ისე ანტინაწილაკის $\bar{\Sigma}^+$ სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია. შესაბამისად წარმოადგენენ დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ერთმუხტიან ნაწილაკებს, თითოეული მათგანის მასა უდრის 2327,7 ელექტრონის მასის ერთეულში. სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\simeq 8 \cdot 10^{-11}$ წამს. იშლებიან შემდეგი სქემის მიხედვით:



სიგმა-მინუსი Σ^- და $\bar{\Sigma}^-$. როგორც სიგმა ნაწილაკის Σ^- , ისე ანტინაწილაკის $\bar{\Sigma}^-$ სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია, შესაბამისად წარმოადგენენ უარყოფითად და დადებითად დამუხტულ ერთმუხტიან ნაწილაკებს. თითოეული მათგანის მასა უდრის 2340,6 ელექტრონის მასის ერთეულში, სიცოცხლის ხანგრძლივობა $1,6 \cdot 10^{-10}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით:



სიგმა-ნული Σ^0 და $\bar{\Sigma}^0$. როგორც სიგმა ნაწილაკის Σ^0 , ისე ანტინაწილაკის $\bar{\Sigma}^0$ სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია. უმუხტონი არიან. თითოეული მათგანის მასა უდრის 2331,8 ელექტრონის მასის ერთეულში. სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\sim 10^{-10}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით:

$$\Sigma^0 \rightarrow \lambda + \lambda.$$

ქსი-ნული Σ^0 და $\bar{\Sigma}^0$, როგორც ქსი-ნაწილაკის Σ^0 , ისე $\bar{\Sigma}^0$ ანტი-ნაწილაკის სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია. უმუხტონი არიან თითოეული მათგანის მასა უდრის 2566 ელექტრონის მასის ერთეულში. სიცოცხლის ხანგრძლივობა $1,5 \cdot 10^{-10}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით:

$$\Sigma_0 \rightarrow \lambda + \pi^0.$$

ქსი-მინუსი Σ^- და $\bar{\Sigma}^-$, როგორც ქსი-ნაწილაკის Σ^- , ისე ანტი-ნაწილაკის $\bar{\Sigma}^-$ სპინი $\frac{1}{2}$ -ის ტოლია. შესაბამისად წარმოადგენენ უარყოფითად და დადებითად დამუხტულ ერთმუხტიან ნაწილაკებს. თითოეული მათგანის მასა უდრის 2580,2 ელექტრონის მასის ერთეულში, სიცოცხლის ხანგრძლივობა $1,3 \cdot 10^{-10}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით:

$$\Sigma^- \rightarrow \lambda + \pi^-.$$

II. საშუალო ნაწილაკები — მეზონები. 1935 წელს გამოთქვა აზრი, რომ ატომბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების შემაკავებელი ველის კვანტებს ქმნის საშუალო მასის მქონე ნაწილაკები — მეზონები. 1937 წელს მეზონები აღმოაჩინეს კოსმოსურ სხივებში, ხოლო 1947 წელს ხელოვნურად მიიღეს, მეზონების მასა 200—300-ჯერ და მეტჯერად აღემატება ელექტრონის მასას. აქ განვიხილავთ მხოლოდ მუხტიან პი-მეზონებს, ნეიტრალურ პი-მეზონებს, მუხტიან მიუ-მეზონებს, მუხტიან კა-მეზონებს და ნეიტრალურ კა-მეზონებს.

π^+ -მეზონი წარმოადგენს დადებითად დამუხტულ ნაწილაკს, რომლის მასა უდრის 273,4 ელექტრონის მასის ერთეულში, სპინი 0-ის ტოლია. სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\approx 2,8 \cdot 10^{-8}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ ($\approx 100\%$) და

$$\pi^+ \rightarrow \beta^+ + \nu_\mu \leq \frac{1}{2} \cdot 10^{-4}\%.$$

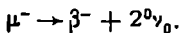
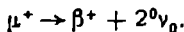
π^- -მეზონი წარმოადგენს უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკს, რომლის მასა უდრის 272,5 ელექტრონის მასის ერთეულში, სპინი = 0, სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\approx 2,8 \cdot 10^{-8}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით:

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu (\approx 100\%) \text{ და } \pi^- \rightarrow \beta^- + \nu_\mu \leq \frac{1}{2} \cdot 10^{-4}\%.$$

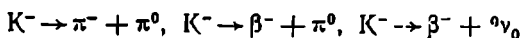
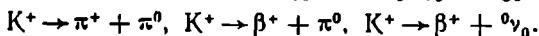
π^0 -ნეიტრალური მეზონი, რომლის მასა უდრის 263,7 ელექტრონის მასის ერთეულში, სპინი 0-ის ტოლია, სიცოცხლის ხანგრძლი-

ვობა $\simeq 10^{-14}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით: $\pi^0 \rightarrow 2\gamma (\simeq 99\%)$ და $\pi^0 \rightarrow \gamma + \beta^+ + \beta^- (\simeq 0,8\%)$.

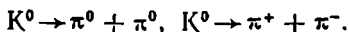
μ^+ -და μ^- -ზე ზონები შესაბამისად წარმოადგენენ დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებს, რომელთა სპინი $1/2$ -ის ტოლია. თითოეული ამ ნაწილაკის მასა საშუალოდ უდრის 207 ელექტრონის მასის ერთეულში, სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\simeq 2,2 \cdot 10^{-6}$ წამს, იშლებიან შემდეგი სქემის მიხედვით:



K^+ - და K^- - მეზონები შესაბამისად წარმოადგენენ დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებს. თითოეული ამ ნაწილაკის მასა საშუალოდ უდრის 966 ელექტრონის მასის ერთეულში, სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\simeq 1,2 \cdot 10^{-8}$ წამს. იშლებიან შემდეგი სქემის მიხედვით:



K^0 - ნეიტრალური მეზონის მასა უდრის 966 ელექტრონის მასის ერთეულს, სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\simeq 10^{-10}$ წამს. იშლება შემდეგი სქემის მიხედვით:



III. მსუბუქი ნაწილაკები: ელექტრონები, პოზიტრონები, ნეიტრინო და ამავე ჯგუფს შეიძლება მივაკუთვნოთ კვანტები — სხივური ნაწილაკები, რომელთა მასა ელექტრომაგნიტურია. მათ არ გააჩნიათ მოსვენებითი მასა, რითაც განსხვავდებიან სხვა მრავალ ელემენტარულ ნაწილაკებისაგან.

β^- -ელექტრონები და β^+ -პოზიტრონები მობირდაპირე ნიშნის ჭეხტიანი და ერთნაირი მასის მქონე ნაწილაკებია; თითოეული ამ ნაწილაკის მასა უდრის ერთს ელექტრონისავე ერთეულში, ხოლო მოსვენებითი მასა კი $\simeq 9,106 \cdot 10^{-28}$ გ. თითოეული ამ ნაწილაკის სპინი $1/2$ -ის ტოლია. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ეს ნაწილაკები მიიღება ატომ-ბირთვში შემაჯავლი ნუკლეონების გარდაქმნისას. პოზიტრონების სიცოცხლის ხანგრძლივობა მეტად მცირეა, ვინაიდან ელექტრონებთან ურთიერთმოქმედებისას გარდაიქმებიან გამა-კვანტებად; $\beta^+ + \beta^- \rightarrow 2\gamma$, ხოლო ატომბირთვთან გამა-კვანტების მოქმედებისას წარმოიქმნება პოზიტრონი და ელექტრონი.

ოქონეიტრინო ელექტრონეიტრალურია, რომლის მასა ახლოა ნულთან, მისი სპინი $1/2$ -ის ტოლია (ნეიტრინო იტალიური სიტყვაა და რაღაც მცირე ნეიტრალურს ნიშნავს).

როგორც ზემოთ განხილული მასალებიდან ჩანს, ელემენტარული ნაწილაკებისათვის დამახასიათებელია ურთიერთგარდაქმნა, ეს კი მათი ბუნების სირთულეზე მიგვიჩივებს. ამჟამად გარკვეულია, რომ ნეიტრონი რთული აღნაგობისაა.

5. ატომბირთვის ბმის¹ ენერგია და მასის დეფექტი. ატომბირთვული მიზიდულობის ძალები და ატომბირთვის შემკველ პროტონებს შორის მოქმედი ელექტროსტატიკური მიზიდვის ძალები განსაზღვრვენ მოცემულ ატომბირთვის მდგრადობას. მსუბუქ ატომბირთვებიდან მდგრადია ისეთები, რომლებთაც აქვთ ტოლი ან ტოლთან ახლოს მყოფი პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვი, როგორიცაა: ${}^4\text{He}_2$, ${}^{12}\text{C}_6$, ${}^{14}\text{N}_7$, ${}^{16}\text{O}_8$ და ა. შ. ატომბირთვებს ბმის ენერგია მაქსიმუმს აღწევს. მაგალითად, ${}^{20}\text{Ne}_{10}$ -სათვის ის უდრის 7,99 მილიონ ელექტრონვოლტს (მ ე ვ). ეს იმით აიხსნება, რომ პროტონებსა და ნეიტრონებს შორის ატომბირთვული მიზიდულობის ძალები მეტია, ვიდრე ნეიტრონებსა და პროტონებს შორის. საშუალო მასის რიცხვის მქონე (Na—Xe) ატომბირთვების ბმის ენერგია კი უდიდესია და საშუალოდ უდრის 8,6 მე ვ, ხოლო მძიმე ელემენტების ატომბირთვების ბმის ენერგია კი კლებულობს, რის გამოც ეს უკანასკნელი წარმოადგენენ არამდგრად ატომბირთვებს, როგორიცაა ურანი, პლუტონი და ა. შ. ელემენტების ამ თვისებამ გადაწყვიტა ატომბირთვული ენერგიის გათავისუფლების პრობლემა. ამრიგად, ატომბირთვის ბმის ენერგიის მნიშვნელობა ატომბირთვული ენერგიის გათავისუფლების ამოხსნის საქმეში მეტად დიდია. იმ მუშაობას, რომელიც საჭიროა ატომბირთვის ცალკეული ნაწილაკების მოწყვეტისათვის, ეწოდება ბმის ენერგია. ხოლო ატომბირთვის ბმის ენერგიის ქვეშ ოგულისხმება ის მუშაობა, რომელიც საჭიროა ბირთვის მთლიანი დაშლისათვის პროტონებად და ნეიტრონებად.

ბმის ენერგიის განსაზღვრა 1905 წელს ა. აინშტაინის მიერ აღმოჩენილ მასასა და ენერგიას შორის ურთიერთდამოკიდებულების კანონს ემყარება. ეს კანონი მოიცავს როგორც მოსვენებით, ისე მოძრაობითს მასას. ამ კანონის თანახმად, თუ ნივთიერების ენერგია (E) იზრდება, ერთდროულად პროპორციულად იზრდება მისი მასაც (m). პირუკუ, თუ ნივთიერება ენერგიას გამოყოფს (ასხივებს), მაშინ მისი

¹ ნეიტრონებსა და პროტონებს ატომბირთვში გარკვეული ენერგია აკავშირებთ, რომელსაც ატომბირთვის ბმის ენერგია ეწოდება.

მასაც ერთდროულად პროპორციულად მცირდება. ეს კანონი ბუნების ზოგად კანონად ითვლება.

ა. აინშტაინის მიერ მოცემული ეს კანონი შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$E = mc^2, \quad (1-4)$$

სადაც E არის ენერგია ერგებში; m — მასა გრამებში; C — სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში და იგი რიცხობრივად უდრის 3.10^{10} სმ წამში, ანუ 300000 კილომეტრს წამში.

ენერგიისა და მასის ურთიერთდამოკიდებულების ამ კანონიდან გამომდინარე, სისტემის ენერგიის ΔE სიდიდით შემცირება იწვევს მასის

$\frac{\Delta E}{C^2}$ სიდიდით შემცირებას, და პირუკუ, ე. ი.

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{C^2} \text{ ან } \Delta E = \Delta mc^2, \quad (1-5)$$

რადგან C^2 ძალიან დიდი სიდიდეა და უდრის $(3.10^{10} \text{ სმ})^2$ წამს. ენერგიის დიდი ცვლილებების დროსაც მასა ძალიან მცირედ იცვლება. გამომდინარე იქიდან, რომ ჩვეულებრივ ატომურ-მოლეკულური პროცესების დროს ენერგიის ცვლილება შედარებით მცირეა. ამიტომ შესაბამისი მასის ცვლილება იმდენად მცირეა, რომ მისი შემჩნევა ძეგლია. ეს იმით აიხსნება, რომ ატომბირთვი 99,95%-ზე მეტ მასას შეიცავს. რადგან ენერგიის განაწილება ატომში მასის განაწილების პროპორციულია, ცხადია, ენერგიის თითქმის მთლიანი რაოდენობა ატომბირთვშია კონცენტრირებული. ამიტომ ჩვეულებრივი ატომურ-მოლეკულური პროცესების დროს ენერგიის თითქმის უმნიშვნელო ნაწილი ლეზულობს მონაწილეობას, რაც პრაქტიკულად მასის შეუმჩნეველ ცვლილებას იწვევს.

ატომურ-ბირთვული პროცესების დროს ენერგია კი დიდ ცვლილებას განიცდის. ამიტომ მასის ცვლილებაც საგრძნობია და შეიძლება ზუსტად გაიზომოს. თანამედროვე მას-სპექტროგრაფიული ტექნიკა საშუალებას იძლევა იზოტოპების, პროტონებისა და ნეიტრონების მასები $10^{-6}\%$ -ის სიზუსტით განისაზღვროს. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გაზომილი და დადგენილია, რომ პროტონის მასა უდრის 1,00758 ატომურ ერთეულს, ხოლო ნეიტრონის მასა — 1,00894 ატომურ ერთეულს. ვინაიდან ატომთა მასები ჩვეულებრივი მასის ერთეულებით გამოისახება, რომელიც უდრის $^{16}\text{O}_8$ -ქანგზადის იზოტოპის $1/16$ -ს, აქედან მასის ერთეული უდრის $1,6503 \cdot 10^{-24}$ გრამს = 931,04 მეგ.

რადგან ატომბირთვის მასა (m_n) უდრის ატომბირთვის შემცველ პროტონებისა (P) და ნეიტრონების (n) მასათა ჯამს, ეგი შეიძლება განვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$m_n = Zm_p + (A - Z)m_n, \quad (1-6)$$

სადაც m_n არის ატომბირთვის მასა (პროტონებისა და ნეიტრონების მასათა ჯამი); Z —ატომური ნომერი (რიგითი ნომერი); m_p —პროტონის მასა; $A-Z$ —ნეიტრონების რიცხვი; m_n —ნეიტრონების მასა.

თუ ჩვენ ამ m_n მასას შევადარებთ მას-სექტროგრაფიული ხერხით გაზომილ ატომბირთვის M_n მასასთან, გამოირკვევა, რომ ისინი არ არიან ერთმანეთის ტოლი. მიღებულ განსხვავებას მასის დეფექტი ეწოდება და აღინიშნება Δm -ით.

მასის დეფექტი Δm ზოგადად შემდეგი სახით შეიძლება ჩაწეროთ:

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - M_n. \quad (1-7)$$

ატომბირთვის მასა M_n წარმოადგენს იზოტოპური M მასისა და ელექტრონების me მასის სხვაობას, ე. ი.

$$M_n = M - Zm_e \quad (1-8)$$

თუ (1-7) ფორმულაში M_n ატომბირთვის მასის ნაცვლად შემოვიტანთ (1-8) იზოტოპური მასისა და ელექტრონების მასის სხვაობას ($M - Zm_e$), მივიღებთ:

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - (M - Zm_e). \quad (1-9)$$

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი. უანგბადის $^{16}\text{O}_8$ იზოტოპის მასა უდრის 16,00000 მასის იზოტოპურ ერთეულს, პროტონის (P) მასა—1,00758 ატომურ ერთეულს, ნეიტრონის (n) მასა—1,00894 ატომურ ერთეულს, ელექტრონის (e) მასა — 0,00055 ატომურ ერთეულს, ხოლო ატომური ნომერი $Z=8$.

(1-9) ფორმულის მიხედვით, $^{16}\text{O}_8$ მასის დეფექტი იქნება $\Delta m = 8 \cdot 1,00758 + 8 \cdot 1,00894 - (16,00000 - 8 \cdot 0,00055) = 0,13656$ მასის ერთეულს.

ამ მასებს შორის განსხვავება გამოწვეულია იმით, რომ პროტონებსა და ნეიტრონებს ატომბირთვში გარკვეული ენერგია აკავშირებს; ატომბირთვის წარმოქმნა პროტონებიდან და ნეიტრონებიდან დაკავშირებულია ენერგიის გამოყოფასთან. რომელსაც ატომბირთვის ბმის ენერგია ეწოდება და, პირუკუ, ატომბირთვის ნეიტრონებად და პროტონებად დაშლისათვის ეკვივალენტური ენერგია იქნება საჭირო. ატომბირთვის ბმის ენერგიის ან გამოსხივების ენერგიის გაგებიათვის საჭიროა მასის ატომური ერთეული გამოსახულ იქნას გრამობით. ერთი

მასის ერთეული უდრის 1,66. 10⁻²⁴ გრამს, ანუ 931 მე ვ. მასის დეფექტის C²-ზე (სინათლის სიჩქარეზე) გამრავლებით მიიღება ატომბირთვის ბმის ენერგია (E):

$$E = [Zm_p + (A - Z)m_n - (M - Zm_e)]C^2. \quad (1-10)$$

მაშასადამე, ატომბირთვის მასების მიხედვით, ადვილია ატომბირთვის ბმის ენერგიის ან გამოსხივების ენერგიის გაანგარიშება, რომელსაც ჩვეულებრივად მილიონ ელექტრონვოლტებში გამოსახავენ.

თუ (1—10) გამოსახულია მასის ერთეულებში, იგი ადვილად შეიძლება გადავიყვანოთ მე ვ-ში, რისთვისაც საკმარისია გადასაყვანი მაჩრაველი 931 მე ვ ჩავსვათ C² ნაცვლად (1—10) ფორმულაში, მაშინ მივიღებთ:

$$E = [Zm_p + (A - Z)m_n - (M - Zm_e)] \cdot 931 \text{ მე ვ.} \quad (1-11)$$

განვიხილოთ იგივე უანგბადის ¹⁶O₈ იზოტოპის ატომბირთვის ბმის ენერგიის კონკრეტული მაგალითი:

$$E(^{16}\text{O}_8) = [8 \cdot 1,00758 + 8 \cdot 1,00894 - (16,00000 - 8 \cdot 0,00055)] \cdot 931 = 127,14 \text{ მე ვ.}$$

პრაქტიკული მიზნებისათვის ბმის ენერგიას ანგარიშობენ ნუკლეონზე, რისთვისაც ატომბირთვის ბმის ენერგიას ყოფენ ნაწილაკთა იმ რიცხვზე, რომლებიც შედიან მოცემულ ატომბირთვის შემადგენლობაში, ე. ი. მასის რიცხვზე A-ზე. ამრიგად, ბმის ენერგია ნუკლეონზე Δ E გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულის საშუალებით.

$$\Delta E = \frac{E}{A}. \quad (1-12)$$

მაგალითად, ¹⁶O₈ ატომბირთვის შემთხვევაში ნუკლეონის (პროტონის ან ნეიტრონის) ბმის ენერგია იქნება:

$$\Delta E = \frac{127,14}{16} = 7,95 \text{ მე ვ.}$$

განვიხილოთ ბმის ენერგიის გაანგარიშების კიდევ ერთი მაგალითი. მას-სპექტროგრაფიული გაზომვით მიღებულია, რომ ჰელიუმის იზოტოპის მასა უდრის 4,00390 მასის იზოტოპის ერთეულს.

(1—11) ფორმულის მიხედვით, ჰელიუმის ⁴He₂ იზოტოპის ატომბირთვის ბმის ენერგია იქნება:

$$E(^4\text{He}_2) = [2 \cdot 1,00758 + 2 \cdot 1,00894 - (4,00390 - 2 \cdot 0,00055)] \cdot 931 = 28,15 \text{ მე ვ.}$$

ნუკლეონის ბმის ენერგია კი ტოლი იქნება:

$$\Delta E = \frac{28,15}{4} = 7,03 \text{ მე ვ.}$$

როგორც ვხედავთ, ჩვენი გაანგარიშებით საშუალო ბმის ენერგია ერთ ნუკლონზე უანგბადის ატომბირთვში 7,96 მე ევ-ს უდრის, ჰელიუმის ატომბირთვში 7,03 მე ევ-ს და ა. შ. გამოთვლილია ყველა ელემენტის ატომბირთვში ნუკლონების საშუალო ბმის ენერგია, რომელიც ერთი ელემენტის ატომბირთვიდან მეორე ელემენტის ატომბირთვზე გადასვლიას იცვლება. იგი მერყეობს დაახლოებით ერთსა და 9 მილიონ ელექტრონვოლტს შორის. ნახ. 8-ზე მოცემულია ნუკლონის ბმის საშუალო ენერგიის მრუდი ელემენტთა მასის რიცხვზე დამოკიდებულებით. აბცისის ღერძზე კი ნუკლონების საშუალო ენერგია (ΔE), როგორც მე-8 ნახაზზე მოცემული მრუდიდან ჩანს, ბმის საშუალო ენერგია დაბალია ძალიან მსუბუქი და ძალიან მძიმე ელემენტებისათვის და მაღალია საშუალო მასის რიცხვის (ატომური წონის)

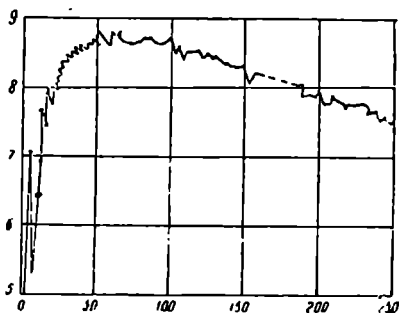
მქონე ელემენტებისათვის. ამრიგად, საშუალო მასის რიცხვის მქონე ელემენტების ატომბირთვების დაშლა გაცილებით მეტ ენერგიას მოითხოვს, ვიდრე მსუბუქი და მძიმე, რადგან, რაც მეტია ბმის ენერგია ელემენტების ატომბირთვის შემადგენელ ნაწილაკებს (ნუკლონებს) შორის, მით უფრო მდგრადია ეს ატომბირთვები.

ასე, მაგალითად, ნუკლონების ბმის უმცირესი ენერგია $3,2 \cdot 10^{-10}$ ჯოული (1,1 მე ევ) ახასიათებს დეიტერიუმს (${}^2\text{H}_1$), მაქსიმალური — $1,39 \cdot 10^{-12}$ ჯოული (8,7 მე ევ)

$A \approx 60$ მასის მქონე ელემენტებს, შემდეგ კი ხელახლა მცირდება და ურან-238-სათვის უდრის $1,2 \cdot 10^{-12}$ ჯოულს (7,5 მე ევ-ს). საერთოდ, $A > 230$ მასის მქონე ელემენტების ატომბირთვები არამდგრადია.

აქედან ისიც გამოდინარეობს, რომ ატომის ენერგიის გამოყოფისათვის მსუბუქი ელემენტების ატომბირთვების შეერთებისა და მძიმე ელემენტების ატომბირთვების დაშლის გზები ყველაზე ეფექტურია.

6. ატომბირთვების მდგრადობა. ატომბირთვები მდგრადია იმ შემთხვევაში, თუ ისინი თავისთავად, სპონტანურად არ იშლებიან სხვა ატომბირთვებად და რაიმე მატერიალურ ნაწილაკად. ამას იმ შემთხვევაში აქვს ადგილი, როდესაც მოცემული ატომბირთვის ბმის ენერგია მეტია ახლად მიღებულ ყველა ატომბირთვის ბმის ენერგი-



ნახ. 8. ნუკლონების ბმის ენერგიის მრუდი ელემენტთა მასის რიცხვზე დამოკიდებულებით.

ის ჯამზე, ამოტყორცნილი ნაწილაკების კინეტიკური ენერჯიის გათვალისწინებითურთ.

აღვნიშნოთ ატომბირთვის ABZ სიმბოლოს საშუალებით, რომელიც ასე წაიკითხება: B ატომბირთვი Z ატომური ნომრითა და A მასის რიცხვით.

ატომბირთვის მდგრადობა ზოგად შემთხვევაში შემდეგი სახით შეიძლება ჩაწეროთ:

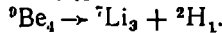
$$\begin{aligned} E(^A B_Z) &= [Zm_p + (A-Z)m_n - (M - Zm_e)] \cdot 931 > [E(AB_Z) = \\ &= [Zm_p + (A - Z)m_n - (M - Zm_e)] \cdot 931 + E(^A C_Z) = \\ &= [Zm_p + (A - Z)m_n - (M - Zm_e) \cdot 931]. \end{aligned} \quad (1-1a)$$

განვიხილოთ ბერილიუმის ${}^9\text{Be}_4$ -იზოტოპის მდგრადობის კონკრეტული მავალით: ატომბირთვი ${}^9\text{Be}_4$ -მდგრადია ${}^7\text{Li}_3$ და ${}^2\text{H}_1$ ატომბირთვებზე დაშლის მიმართ:

$$\begin{aligned} E({}^9\text{Be}_4) &= [4 \cdot 1,00758 + 5 \cdot 1,00894 - (9,01503 - 4 \cdot 0,00055)] \cdot 931 = \\ &= 57,90 > [3 \cdot 1,00753 + 4 \cdot 1,00394 - (7,01822 - 3 \cdot 0,00055)] \cdot 931 + \\ &+ [1,00758 + 1,00894 - (2,01471 - 0,00055)] \cdot 931 = 41,23 \text{ მეე.} \end{aligned}$$

ე. ი. $E({}^9\text{Be}_4) = 57,90 > E({}^7\text{Li}_3) = 39,036 + E({}^2\text{H}_1) = 2,197 = 41,23 \text{ მეე.}$

მართლაც, ${}^9\text{Be}_4$ მდგრადია და იგი თავისთავად, სპონტანურად არ იშლება შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



ახლა თუ ავიღებთ ბერილიუმის მეორე ${}^9\text{Be}_4$ -იზოტოპს, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, იგი უნდა დაიშალოს შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



გავიანგარიშოთ ${}^9\text{Be}_4$ ატომბირთვის ბმის ენერჯია და ${}^4\text{He}_2 + {}^4\text{He}_2$ ატომბირთვების ბმის ენერჯია. მივიღებთ:

$$\begin{aligned} E({}^9\text{Be}_4) &= [4 \cdot 1,00758 + 4 \cdot 1,00894 - (8,00785 - 4 \cdot 0,00055)] \cdot 931 = \\ &= 56,17 < [2 \cdot 1,00758 + 2 \cdot 1,00894 - (4,0039 - 2 \cdot 0,00055)] \cdot 931 + \\ &+ [2 \cdot 1,00758 + 2 \cdot 1,00894 - (4,0039 - 2 \cdot 0,00055)] \cdot 931 = 56,3 \text{ მეე.} \end{aligned}$$

მართლაც, როგორც აღვნიშნეთ, $A = 8$ მასის რიცხვის მქონე ატომბირთვი ბუნებაში არ გვხვდება, ის არამდგრადია და თავისთავად, სპონტანურად იშლება.

მაშასადამე, თუ წარმოქმნილი ატომბირთვების მასა აღემატება აღებულისას, მაშინ E (ენერჯია) უარყოფითია და რეაქცია არ შეიძლება სპონტანურად ჩატარდეს. ხოლო თუ წარმოქმნილი ატომბირთვების მასა ნაკლებია აღებულზე, მაშინ ენერჯია (E) დადებითია და რეაქცია სპონტანურად მიმდინარეობს.

1. იზოტოპების მოკლე მიმოხილვა. როგორც ცნობილია, ა. მ. ბუტლეროვმა ჯერ კიდევ 1881 წელს იწინასწარმეტყველა იზოტოპების არსებობა. იზოტოპი ბერძნული სიტყვისაგან წარმოდგება და ნიშნავს „იზოს“ — ტოლი და „ტოპოს“ — ადგილი.

რადიაქტიურ ელემენტთა მწკრივების, ანუ ოჯახებისა (იხ. ნახ. მე-3, მე-4, მე-5 და მე-6) და აგრეთვე ბუნებრივი რადიაქტიური ცალკეული ელემენტების (იხ. 1-ლი ცხრ.) განხილვის დროს ვნახეთ, რომ ბუნებაში გვხვდება ისეთი ელემენტები, რომლებიც განსხვავდებიან მასით (M), ხოლო ატომბირთვებში კი ერთნაირი მუხტი აქვთ; ამიტომ მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში მათ ერთი და იგივე ადგილი უკავიათ. მაგალითად, თორიუმის, ურანრადიუმისა და აქტინო-ურანის მწკრივების უკანასკნელი წევრები წარმოადგენენ ჩვეულებრივ სტაბილურ ტყვიას 208, 206 და 207 მასით. სამივე მოთავსებულია პერიოდული სისტემის მე-4 ჯგუფის ერთსა და იმავე უჯრედში ატომური ნომრით $Z=82$. ამავე მწკრივების სამივე ემანაციის პროდუქტი 220, 222 და 219 მასით მოთავსებულია ერთსა და იმავე ნულოვან ჯგუფში ატომური ნომრით $Z=86$. თალიუმი 206, 207, 208 და 210 მასით ასევე მოთავსებულია ერთი და იგივე III ჯგუფის ერთსა და იმავე უჯრედში ატომური ნომრით $Z=81$. ასევე კალა 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122 და 124 მასით მოთავსებულია მე-4 ჯგუფის ერთსა და იმავე უჯრედში ატომური ნომრით $Z=50$ და ა. შ. ცხადია, აქ ხელოვნური იზოტოპები არ არიან დასახელებული, რადგან მათი მიღება ქვემოთაა განხილული.

თითოეული ელემენტის ატომთა ასეთ ნაირსახეობებს, რადგან ატომბირთვის მუხტი და ელექტრონების რიცხვი ერთნაირი აქვთ, ქიმიური თვისებებიც ერთი და იგივე აქვთ, ხოლო მასა (M) — სხვადასხვა. ელემენტთა ასეთ ნაირსახეობებს სო დ ი მ იზოტოპები უწოდება. სხვანაირად რომ ვთქვათ, იზოტოპები ეწოდება ისეთ ქიმიურ ელემენტებს, რომლებსაც ატომბირთვე-ბში პროტონების (P) რაოდენობა თანაბარი აქვთ, ხოლო ნეიტრონებისა (n) — თითოეულ მათგანს სხვადასხვა გააჩნია. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ერთი და იმავე რიგითი ნომრის დასხვადასხვა მასის მქონე ატომებს იზოტოპები ეწოდებათ.

იზოტოპები არიან მდგრადი (სტაბილური) და არამდგრადი (არასტაბილური). მაგალითად, ბუნებრივ წყალბადს გააჩნია სამი იზოტოპი

H_1^1 , H_1^2 და H_1^3 . აქედან პირველი ორი მდგრადია, ხოლო მესამე არამდგრადი, განიცდის β^- -გარდაქმნას. ქანგბადსაც სამი ბუნებრივი იზოტოპი აქვს— $^{16}O_8$, $^{17}O_8$ და $^{18}O_8$ — და სპივე მდგრადია.

კალიუმის სამი ბუნებრივი იზოტოპიდან — $^{39}K_{19}$, $^{40}K_{19}$, $^{41}K_{19}$ -დან β^- -გარდაქმნას განიცდის მხოლოდ ერთი $^{40}K_{19}$ და ა. შ.

განხილული და მრავალი მსგავსი მოვლენები ცხადად ადასტურებენ იმას, რომ ერთი და იგივე იზოტოპის ატომბირთვები, რადგან სხვადასხვა რაოდენობის ნუკლეონებს შეიცავენ, სხვადასხვაგვარ აღნაგობას იჩენენ, რის გამოც მათ სხვადასხვა რადიოაქტიური თვისებები ახასიათებთ. მაგალითად, როგორც 1-ლი ცხრილიდან ჩანს, ნეოდიმის ერთ-ერთი იზოტოპი $^{144}Nd_{60}$ ალფა-აქტიურია, ხოლო $^{150}Nd_{60}$ კი ბეტა-აქტიური და ა. შ.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ლუწ ატომურნომრიანი ელემენტების იზოტოპებს უფრო დიდი რიცხვი აქვთ, ვიდრე კენტ ატომურ-ნომრიან ელემენტებს. ასე მაგალითად, $^{116}Jn_{80}$ აქვს ორი იზოტოპი, $^{118}Sn_{50}$ —10 იზოტოპი, $^{121}Sb_{51}$ —2 იზოტოპი, $^{128}Te_{52}$ —8 იზოტოპი, $^{138}Ba_{56}$ —7 იზოტოპი, $^{139}La_{57}$ —2 იზოტოპი, $^{208}Bi_{83}$ —1 იზოტოპი, ხოლო $^{210}Po_{84}$ აქვს 20 იზოტოპი და ა. შ.

კენტი პროტონებისა და კენტი ნეიტრონების მქონე მხოლოდ ოთხი სტაბილური იზოტოპია ცნობილი, როგორცაა 2H_1 , 6Li_3 , $^{10}B_5$ და $^{14}N_7$.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ერთი და იმავე ელემენტის იზოტოპების მასები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. სწორედ ამაზეა დამყარებული ერთი და იმავე ელემენტის იზოტოპების დაცილების მეთოდების უმრავლესობა, როგორცაა დიფუზური მეთოდი, თერმოდირფუზური მეთოდი და სხვ. პირველი მეთოდი დამყარებულია იმაზე, რომ აირის მსუბუქი ნაწილაკები დიფუზიის დროს წინ უსწრებენ მძიმე ნაწილაკებს. ამ მეთოდით იზოტოპების დაცილების ხარისხი მეტად მცირეა. ამიტომ მიმართავენ მრავალსაფეხურიან დანადგარებს. უფრო ფართოდ იყენებენ მეორე — თერმოდირფუზურ მეთოდს, რომელიც დამყარებულია იმაზე, რომ სხვადასხვა მოლეკულური წონის აირების ნარევიდან მაღალი ტემპერატურისაკენ მიემართებიან მსუბუქი კომპონენტები, ხოლო დაბალი ტემპერატურის აირისაკენ კი მძიმე კომპონენტები. თერმოდირფუზური მეთოდისათვის ლაბორატორიულ პირობებში ძალიან მოსახერხებელია თერმოდირფუზური ცილინდრი, რომლის შიგა ცილინდრში მაღალ ტემპერატურას ინარჩუნებენ, ხოლო გარე ცილინდრში კი მაცივრის საშუალებით ტემპერატურა დაბალია. დასაცილებელ აირთა ნარევეს უშვებენ ზემო რეზერვუარში (ნახაზში რეზერვუარები და მაცივარი არაა ნაჩვენები, ნაჩვენებია მხოლოდ ცი-

ვი და ცხელი კედლებისა და აირის მოძრაობის მიმართულება). შიგა ცილინდრს ასურებენ (იხ. ნახ. 9.). ცხელ ზედაპირთან შეხებისას აირი ფართოვდება და გამდიდრებული მსუბუქი კომპონენტით აიმართება ზემო რეზერვუარში, ხოლო ცივ კედლებთან მძიმე კომპონენტით გამდიდრებული აირი დაეშვება დაბლა. ამრიგად, ტემპერატურის სხვაობის გამო, მაღალ ტემპერატურის არეში გაიზრდება მსუბუქი კომპონენტის კონცენტრაცია, ხოლო დაბალი ტემპერატურის არეში კი მძიმე კომპონენტის კონცენტრაცია. ამ მეთოდით არა მარტო ჩვეულებრივი აირებისა და აირგვაროვანი იზოტოპების, როგორცაა წყალბადი, აზოტი, ნაწირობადი, ნეონი, კრიპტონი და ა. შ., არამედ ხსნარ მდგომარეობაში მყოფი იზოტოპების დაცილება შეიძლება.

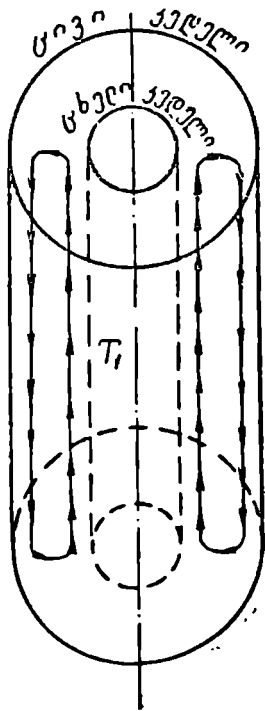
თერმოდინამიკური მეთოდი. დინამიკური და ზოგ სხვა მეთოდთან შედარებით, უფრო ეფექტურია. ზემოთ აღნიშნული მეთოდებით იზოტოპთა დასაცილებლად საჭიროა ცალკეული პროცესის მრავალჯერ განმეორება; ამ მხრივ უპირატესობა აქვს მას-სექტროგრაფისა და მას-სექტრომეტრით იზოტოპების დაცილების მეთოდებს. ამ მეთოდის საშუალებით იზოტოპების დაცილება წარმოებს ერთჯერადი მოქმედებით, მაგრამ სამაგვიროდ მისი ეფექტურობა მცირეა.

იზოტოპების დაცილების სხვა მეთოდებისაგან განსხვავებით, აღსანიშნავია ქიმიური, აორთქლების, ფრაქციული გამოხდის, ექსტრაქციული, ცენტრიფუგირების, ქრომოტოგრაფიული, ადსორბციის, ელექტროლიზის, ელექტრომაგნიტური ველით იზოტოპების დაცილების და სხვა მეთოდები, რომელთა ცალ-ცალკე განხილვაზე აქ არ შევჩერდებით.

2. იზობარები. ხშირად სხვადასხვა

ატომური ნომრის მქონე, ანუ სხვადასხვა რაოდენობის პროტონების შემცველ ელემენტებს ერთნაირი მასის რიცხვი აქვთ.

მაგალითად, ${}^4\text{Ar}_{18}$, ${}^{40}\text{K}_{19}$, ${}^{40}\text{Ca}_{20}$; ${}^{50}\text{Ti}_{22}$, ${}^{50}\text{V}_{23}$; ${}^{50}\text{Cr}_{24}$; ${}^{112}\text{Cd}_{48}$, ${}^{112}\text{Sn}_{50}$; ${}^{113}\text{Cd}_{48}$;

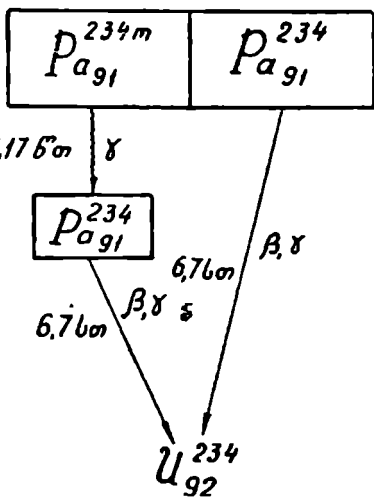


ნახ. 9.

${}^{113}\text{Jn}_{49}$; ${}^{115}\text{Jn}_{49}$; ${}^{115}\text{Sn}_{60}$

და ა. შ. ისეთ ელემენტებს, რომლებსაც მასის რიცხვები (A) ერთ-ნაირი აქვთ, ხოლო პროტონების (P) რიცხვი სხვადასხვა და, მაშასადამე, პერიოდულ სისტემაში სხვადასხვა ადგილი უკავიათ, ეწოდებათ იზობარები. ცხადია, რომ იზობარები, ერთნაირი მასის მიუხედავად, განსხვავდებიან ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით, რადგან მათ სხვადასხვა ატომბირთვის მუხტი აქვთ და ელემენტის ქიმიური თვისებების განმსაზღვრელია არა მასა, არამედ ატომბირთვის მუხტი, რომელიც რიცხობრივად ატომური ნომრის ტოლია.

8. იზომერები. იზომერები ისეთ რადიოაქტიურ იზოტოპებს ეწოდებათ, რომლებსაც ერთი და იგივე ატომური ნომერი (Z) და ერთი და იგივე მასის რიცხვი (A) აქვთ, მაგრამ განსხვავებულ რადიოაქტიურ თვისებებს იჩენენ. იზომერული ატომბირთვები განსხვავდებიან თავიანთი აღნაგობით და ამასთან დაკავშირებული გამოსხივების სახითა და ენერგიით და სხვადასხვა სიდიდის ნახევრად დაშლის პერიოდით. მაგალითად, ურან-რადიუმის შვეკრივის ერთ-ერთი წევრი პრო-

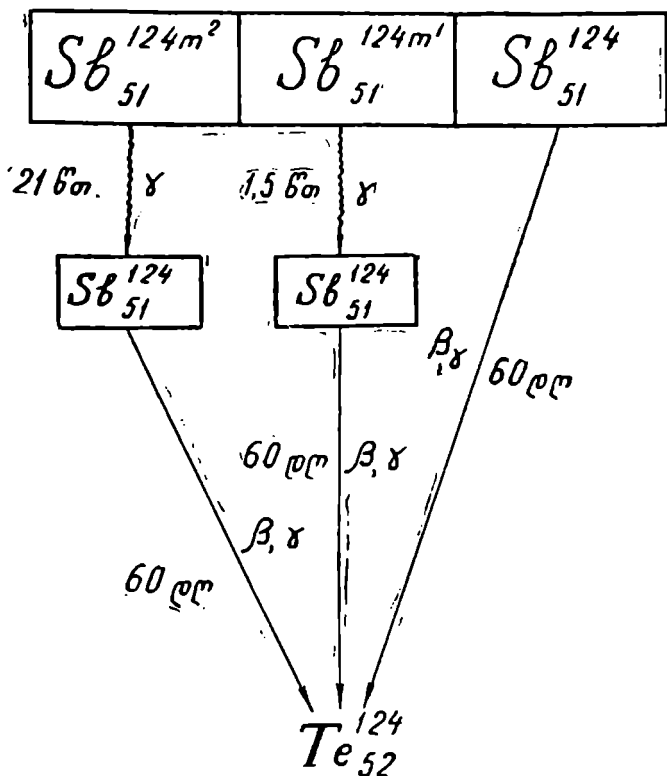


ნახ. 10. პროტაქტინიუმის იზომერული წყვილის გარდაქმნა.

ტაქტინიუმის იზომერული წყვილის ($^{234m}\text{Pa}_{91}$ და $^{234}\text{Pa}_{91}$) ატომბირთვების ნახევრად დაშლის პერიოდი შესაბამისად 1,17 წუთსა და 6,7 საათს უდრის. გამოსხივების ენერგია შესაბამისად 0,45 (0,7) და 2,32 (0,8) მილიონ ელექტრონვოლტს (მეე) უდრის.

პროტაქტინიუმის იზომერული წყვილის გარდაქმნა მე-10 ნახ.-ზე მოცემული სქემით შეგვიძლია გამოვსახოთ. $^{234m}\text{Pa}_{91}$ აგზნებული მდგომარეობიდან უკვანტის ამოტყორცნით ჩვეულებრივ $^{234}\text{Pa}_{91}$ მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს იზომერული გარდაქმნა ეწოდება.

ჩვეულებრივად აგზნებულ მდგომარეობაში მყოფი ატომბირთვის საშუალო სიციოცხლის ხანგრძლივობა არ აღემატება 10^{-8} წამს. დრო-



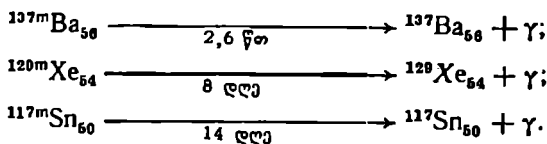
ნახ. 11. სტიბიუმის იზომერების გარდაქმნა.

ის ასეთ მცირე მონაკვეთში აგზნებულ ატომბირთვიდან ჰარბი ენერგია γ -კვანტის სახით გამოსხივდება და გადადის ძირითად მდგომარეობაში. მაგრამ ზოგიერთ აგზნებულ ატომბირთვის ზემოთ განხილულ პროტაქტინიუმის იზომერის ანალოგიურად უძნელდება γ -კვანტების ამოტყორცნა და მათი სიციოცხლის ხანგრძლივობა შედარებით დიდია.

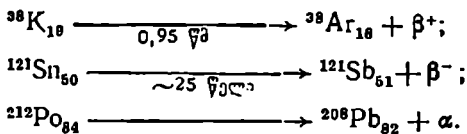
1 თუმცა არსებობს ძალიან დიდი სიციოცხლის მქონე აგზნებული ატომბირთვებიც, როგორცაა, მაგალითად, იზომერი $^{182m}\text{Ir}_{77}$, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 600 წელს.

$^{234m}\text{Pa}_{81}$ ატომბირთვის ანალოგიურ ატომბირთვებს. რომლებიდანაც γ -კვანტის ამოტყორცნისათვის ერთ წუთზე მეტი დროა საჭირო, ეწოდებათ იზომერული წყვილები. ამჟამად 250-ზე მეტი იზომერული წყვილია ცნობილი. ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტების იზომერებიდან განსხვავებული ხანგრძლივობის ნახევრად დაშლის პერიოდი და გამოსხივების ენერგია ახასიათებთ აგრეთვე ხელოვნური ბერხით მიღებულ სტიბიუმს მასის რიცხვით 124, რომელსაც სამი იზომერული ფორმა ახასიათებს: $^{124m}\text{Sb}_{51}$, $^{124m1}\text{Sb}_{51}$, $^{124}\text{Sb}_{51}$. სამივე β^- გამოსხივებას იძლევა. მათი ნახევრად დაშლის პერიოდი შესაბამისად 21 წუთს, 1,5 წუთს და 60 დღეს უდრის, გამოსხივების ენერგია კი (0,018), 3,2 (0,012), 0,5—1,7 (0,121—2,04) მეგ. სამივეს გარდაქმნის საბოლოო პროდუქტს სტაბილური ტელური წარმოადგენს.

ეს გარდაქმნა მე-11 ნახ.-ზე მოყვანილი სქემის მიხედვით შეგვიძლია გამოვსახოთ. სტაბილური ფორმის მიღებით წყდება პროცესი, ე. ი. აგზნებული მდგომარეობიდან ნორმალურ მდგომარეობაზე გადასვლის დროს სხვა ელემენტად გარდაქმნელად ჰქარბ ენერგიას γ -კვანტის სახით ასხივებენ. ასე, მაგალითად:



ზოგჯერ აგზნებული ატომბირთვი განიცდის იზომერულ გარდაქმნას β^+ , β^- ან ალფა-ნაწილაკების გამოსხივებით. მაგალითად:



4. იზოტონები. არსებობს ისეთი ელემენტებიც, რომლებსაც მასის რიცხვი (A) და ატომბირთვის მუხტიც სხვადასხვა აქვთ, ხოლო ატომბირთვში ნეიტრონების (n) რაოდენობა ($n = A - Z$) კი ერთნაირი. ასეთ ელემენტებს იზოტონები ეწოდებათ. მაგალითად, $^{30}\text{Si}_{14}$, $^{31}\text{P}_{15}$, $^{32}\text{S}_{16}$ თითოეული მათგანის ნეიტრონების რიცხვი უდრის 16. აგრეთვე $^{114}\text{Cd}_{48}$, $^{115}\text{In}_{49}$, $^{116}\text{Sn}_{50}$ თითოეული მათგანის ნეიტრონების რიცხვი უდრის 72 და ა. შ. იზოტონები ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან.

რადიაქტიური ბარდაქმნის კინეტიკა

1. რადიაქტიური გარდაქმნის პროცესი. რადიაქტიურობის აღმოჩენიდანვე შემჩნეული იყო, რომ რადიაქტიური ნივთიერების აქტიუობა დროთა განმავლობაში მცირდება. ცნობილი იყო ისიც, რომ რადიუმის ემანაციის ნათება დროთა განმავლობაში სუსტდება, რამაც მკვლევარები მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ რადიუმის ემანაციის რაოდენობა თანდათანობით მცირდება. გარდა ამისა, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, რადიაქტიური გარდაქმნის დროს ერთი სახის ატომები გარდაიქმნებიან მეორე სახის ატომებად, ე. ი. მიიღება ახალი ელემენტი ახალი ატომური ნომრით (Z).

გამოკვლეულია, რომ რადიაქტიური ელემენტის ატომთა რიცხვი, რომელიც დროის ერთეულში (1 წამში) იშლება, ჯერ კიდევ დაუშლელი რადიაქტიური ატომების რაოდენობის პროპორციულია. ეს იმას ნიშნავს, რომ დროის მცირე მონაკვეთში მოცემული რადიაქტიური ელემენტის ატომთა საერთო რიცხვიდან ატომების მუდამ ერთი და იგივე ნაწილი იშლება, იმ პირობით, თუ დროის ერთეული, ნახევრად დაშლის პერიოდთან შედარებით, საკმაოდ მცირეა, მაგალითად, დავუშვათ, რომ ერთ წამში 10.000.000 ატომიდან დაიშალა 100.000, ე. ი. ერთი მეასედი ნაწილი, მაშინ მეორე წამში დარჩენილი ატომების საერთო რიცხვიდან—9.900.000-დან დაიშლება აგრეთვე ერთი მეასედი, ე. ი. 99.000 ატომი, მესამე წამში დარჩენილი ატომებიდან — 9801000-დან დაიშლება კიდევ ერთი მეასედი, ე. ი. 98010 ატომი და ა. შ.

მაშასადამე, თუ ნებისმიერ t დროის მომენტში მოცემული რადიაქტიური ელემენტის დაუშლელ (აქტიურ) ატომთა რაოდენობას აღვნიშნავთ N -ით, დროის მცირე მონაკვეთს Δt , ხოლო დროის ამ მცირე მონაკვეთში დაშლილ ატომთა რაოდენობას ΔN -ით, მაშინ, რადგან დროის მცირე (Δt) მონაკვეთში დაშლილ ატომთა რაოდენობა (ΔN) ამ მომენტში დაუშლელ ატომთა რიცხვის (N) პროპორციულია, მივიღებთ:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t, \quad (1-13)$$

სადაც λ პროპორციულობის კოეფიციენტი და წარმოადგენს რადიაქტიური ელემენტის დაშლის სიჩქარის მუდმივას.

განტოლება (1-13)-დან მივიღებთ:

$$\lambda = -\frac{\Delta N/\Delta t}{N}. \quad (1-14)$$

ე. ი. რადიაქტიური ელემენტის დაშლის სიჩქარის λ -მუდმივა გამოსახავს ატომბირთვის უმდგრადობას და გვიჩვენებს ყოველ წამში დაშლილ

ატომთა რაოდენობას. მაშასადამე, რაც უფრო მეტია რადიოაქტიური ელემენტის დაშლის სიჩქარის λ -მუდმივა, მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს მოცემული ელემენტის დაშლა. მაგალითად, თორიუმისათვის ($^{232}\text{Th}_{90}$) $\lambda = 1,60 \cdot 10^{-18}$ წამს $^{-1}$, რადიუმისათვის ($^{226}\text{Ra}_{88}$) $\lambda = 1,35 \cdot 10^{-10}$ წამს $^{-1}$, ფოსფორისათვის ($^{32}\text{P}_{15}$) $\lambda = 0,58 \cdot 10^{-8}$ წამს, ნატრიუმისათვის ($^{24}\text{Na}_{11}$) $\lambda = 1,29 \cdot 10^{-5}$ წამს $^{-1}$, სტრონციუმისათვის ($^{90}\text{Sr}_{38}$) $\lambda = 7,8 \cdot 10^{-10}$ წამს $^{-1}$, იტრიუმისათვის ($^{90}\text{Y}_{39}$) $\lambda = 3,0 \cdot 10^{-8}$ წამს $^{-1}$ და ა. შ.

იმავე (1-13) განტოლებიდან ჩანს, რომ

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N. \quad (1-15)$$

განტოლება (1-15) გვიჩვენებს დროის ერთეულში დაშლილი ატომების აბსოლუტურ რაოდენობას, რომელსაც მოცემული რადიოაქტიური ელემენტის აქტივობა ეწოდება.

2. ნახევრად დაშლის პერიოდი. დაშლის სიჩქარის λ -მუდმივას ნაცვლად ხშირად სარგებლობენ ნახევრად დაშლის პერიოდით. ნახევრად დაშლის პერიოდი არის ის დრო, რომლის განმავლობაში იშლება მოცემული რადიოაქტიური ნივთიერების ნახევარი. ნახევრად დაშლის პერიოდი აღინიშნება T ასოთი.

ამრიგად, T ნახევრად დაშლის პერიოდის გავლის შემდეგ მოცემული რადიოაქტიური ელემენტის დაუშლელ ატომთა N_0 რაოდენობიდან დარჩება $N = \frac{N_0}{2}$ ატომი, $2T$ -ს ნახევრად დაშლის პერიოდის გავ-

ლის შემდეგ $\frac{N_0}{4}$, $3T$ -ს შემდეგ $\frac{N_0}{8}$, $4T$ -ს შემდეგ $\frac{N_0}{16}$... და nT ნახევ-

რად დაშლის პერიოდის გავლის შემდეგ კი დარჩება $\frac{N_0}{2^n}$. ამრიგად:

$$N = \frac{N_0}{2^n}, \quad (1-16)$$

$$\text{სადაც } n = \frac{t}{T}.$$

ნახევრად დაშლის პერიოდი (T) მათემატიკურად შემდეგნაირად შეიძლება გავიანგარიშოთ. მოცემული რადიოაქტიური ელემენტის ატომთა რაოდენობა N_0 -დან t დროის გავლის შემდეგ დარჩენილ დაუშლელ ატომთა რიცხვი N შეიძლება მონახულ იქნას (1-13) $\Delta N = -\lambda N \Delta t$ განტოლებიდან, საიდანაც გვექნება

$$\frac{\Delta N}{N} = -\lambda \Delta t.$$

ამ განტოლების ინტეგრირებით მივიღებთ:

$$J_n N = -\lambda t + \text{const.}$$

საწყის მომენტში, როდესაც $t = 0$, მაშინ $N = N_0$. მაშასადამე, $\text{const} = J_n N_0$ ამ მნიშვნელობის ჩასმით და სათანადო ოპერაციის ჩატარებით მივიღებთ:

$$J_n \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\text{ან} \quad \lambda = \frac{1}{t} J_n \frac{N_0}{N},$$

რომლის ახარისხებით მივიღებთ:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1-17)$$

სადაც e არის ნატურალური ლოგარითმის ფუძე ($e \approx 2,718$), დანარჩენი სიმბოლოების ფიზიკური მნიშვნელობანი კი ზემოთ გვაქვს აღნიშნული.

როდესაც t გაუთანასწორდება T , ე. ი. $t = T$, მაშინ რადიოაქტიური ელემენტების გარდაქმნის წესის თანახმად მოცემული რადიოაქტიური ელემენტის რაოდენობა დაშლის გამო განახევრდება, ე. ი.

$N = \frac{N_0}{2}$. თუ N -ის ამ მნიშვნელობას ჩავსვამთ განტოლება (1-17)-ში, მივიღებთ:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T},$$

$$\text{საიდანაც} \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}. \quad (1-18)$$

(1-18) განტოლების გალოგარითმებით მივიღებთ:

$$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T, \quad (\ln 1 = 0)$$

$$\ln 2 = \lambda T,$$

$$\text{საიდანაც} \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693^*}{\lambda} \quad (1-19)$$

$$T = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (1-20)$$

იმავე (1-19) განტოლებიდან ჩანს, რომ

$$\lambda = \frac{0,693}{T}. \quad (1-21)$$

* $\ln x = 2,303 \log x$, ე. ი. $\ln 2 = 2,303 \log 2 = 2,303 \cdot 0,30103 = 0,693$.

თუ (1—21) განტოლებიდან λ -ნიშნულობას ჩავსვამთ (1—17) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$N = N_{0e} - \frac{0,693 \cdot t}{T} \cdot \quad (1-22)$$

რადგან (1—17) და (1—22) განტოლებანი გამომდინარეობენ (1—13) განტოლებიდან, ესენიც წარმოადგენენ რადიაქტიური ელემენტების გარდაქმნის წესის გამომხატველ ფორმულებს.

რადიაქტიური ელემენტების დაშლის სიჩქარე λ -მუდმივა და ნახევრად დაშლის T პერიოდი წარმოადგენენ რადიაქტიური ელემენტების დამახასიათებელ სიდიდეებს, რომელთა საშუალებითაც შეიძლება ელემენტის ინდივიდუალობის დადგენა.

ეს სიდიდეები, ითვლებიან რა მოცემულ რადიაქტიურ ელემენტისათვის, მუდმივ სიდიდეებად, არ არიან დამოკიდებული იზოტოპის ფიზიკურ და ქიმიურ მდგომარეობაზე. როგორც გამოიჩვენა, რადიაქტიურ ელემენტთა გარდაქმნის სიჩქარე და ნახევრად დაშლის პერიოდი მოცემული რადიაქტიური ელემენტისათვის ერთნაირია როგორც თხევადი აირის ტემპერატურაზე (-194°), ისე 2000° ტემპერატურაზე, 2000 ატმოსფერული წნევის ქვეშ და ვაკუუმშიაც.

დაშლის სიჩქარის λ -მუდმივას განსაზღვრა უფრო მოხერხებულია ეწარმოთ (1—21) განტოლების მიხედვით, ე. ი.

$$\lambda = \frac{0,693}{T} \cdot$$

მაგალითად, თორიუმის ($^{232}\text{Th}_{90}$) მოცემული რაოდენობის რა ნაწილი დაიშლება 1 წამის განმავლობაში, თუ მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი $T = 1,39 \cdot 10^{10}$ წელს?

$$\lambda = \frac{0,693}{1,39 \cdot 10^{10} \text{ წელი}} \cdot$$

დაშლის სიჩქარის მუდმივა ისაზღვრება წამებში $^{-1}$, მაშასადამე,

$$\lambda = \frac{0,693}{1,39 \cdot 10^{10} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 1,58 \cdot 10^{-18} \text{ წამი}^{-1},$$

საიდანაც $T = \frac{0,693}{1,58 \cdot 10^{-18} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 1,39 \cdot 10^{10}$ წელიწადს.

როგორც ვხედავთ, თორიუმის გარდაქმნა ძალიან ნელა მიმდინარეობს; ასეთ ელემენტებს ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ელემენტები ეწოდებათ. როგორც 3—5 ნახაზიდან ჩანს, არსებობენ აგრეთვე ხანმოკლე სიცოცხლის მქონე ელემენტებიც.

8. სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა. რადიაქტიური ელემენტების გარდაქმნის დახასიათებისათვის ზოგჯერ იყენებენ აგრეთვე მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობას. რადიაქტიური ელემენტის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა ეწოდება ყველა რადიაქტიური ატომის არსებობის დროის ხანგრძლივობის ჯამის შეფარდებას საწყის რადიაქტიურ ატომთა რაოდენობასთან. თუ N (აქტიურ ატომთა რაოდენობა t დროის მომენტში) დიდი რიცხვია, მაშინ ჯამი შეიძლება შევცვალოთ ეკვივალენტური ინტეგრალით და რადიაქტიური ელემენტის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგი ფორმულით:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{N_0} \int_{t=0}^{t=\infty} t \Delta N = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N \Delta t = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} \Delta t = - \left[\frac{\lambda t + 1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right]_0^{\infty} = \\ &= \frac{1}{\lambda}, \text{ ე. ი. } \tau = \frac{1}{\lambda}. \end{aligned} \quad (1-23)$$

მართლაც, $\lambda N \Delta t$ არის t , $t + \Delta t$ დროის ინტერვალში დაშლილი ატომების რიცხვი, ხოლო t ის დროა, რომლის განმავლობაში ეს ატომები

არსებობენ. მაშასადამე, $\int_0^{\infty} t \lambda N \Delta t$ არის ყველა, ე. ი. N_0 ატომის სიცო-

ცხლის ხანგრძლივობის ჯამი; სწორედ აქედან გამომდინარეობს (1-23) განტოლება. როგორც ჩანს, რადიაქტიური ელემენტის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა უდრის ამ ელემენტის დაშლის სიჩქარის მუდმივას შებრუნებულ სიდიდეს და იგი ნახევრად დაშლის პერი-

ოდზე $\frac{1}{0,693}$ ფაქტორით მეტია, რაც (1-23) და (1-19) განტოლებების შედარებიდან გამომდინარეობს, ე. ი.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} \simeq 1,447 T. \quad (1-24)$$

ეს განპირობებულია იმით, რომ გარკვეული წონითი რაოდენობით გაშუალებისას აღრიცხულია შემთხვევით დიდი ხნით დარჩენილი აქტიური ატომებიც. ზემოაღნიშნულიდან აგრეთვე ნათლად ჩანს, რომ $\tau = \frac{1}{\lambda}$

დროის განმავლობაში საწყისი მნიშვნელობიდან აქტივობა მცირდება $\frac{1}{e}$ სიდიდემდე.

აქამდე ჩვენ ვიხილავდით მხოლოდ ცალკეულად აღებულ ერთი. იზოლირებული რადიოაქტიური ელემენტის გარდაქმნას და არაფერი გვითქვამს რადიოაქტიური ელემენტების ისეთ ნარევეზე, რომლებსაც ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შეუძლიათ განიცადონ დაშლა. თუ 1 და 2 ინდექსით აღნიშნულ ორ რადიოაქტიურ ელემენტს ერთმანეთში ავურევთ, მაშინ მიღებული ნარევის საერთო აქტივობა (A) ორივე ელემენტის აქტივობის (A_1 და A_2) ჯამის ტოლი იქნება:

$$A = A_1 + A_2 = C_1 A_1 N_1 + C_2 A_2 N_2, \quad (1-25)$$

სადაც C_1 და C_2 თვის კოეფიციენტები არ არიან ერთნაირი და თავიანთი სიდიდით შეიძლება დიდად განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან.

რადგან $C_1 A_1 N_1$ და $C_2 A_2 N_2$ შესაბამისად პირველი და მეორე რადიოაქტიური ელემენტის აქტივობას გამოხატავს, ამიტომ, თუ N და N_0 -ის ნაცვლად (1-17) განტოლებაში მათ შესატყვის აქტივობას A და A_0 ჩავსვამთ სათანადო ინდექსებით, მაშინ მათი ჯამური აქტივობა (A) t დროის მომენტში იქნება:

$$A = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} + A_2^0 e^{-\lambda_2 t}.$$

თუ განტოლების ორივე ნაწილს $e^{\lambda_1 t}$ -ზე გავამრავლებთ, მივიღებთ:

$$Ae^{\lambda_1 t} = A_1^0 + A_2^0 e^{(\lambda_1 - \lambda_2)t}. \quad (1-26)$$

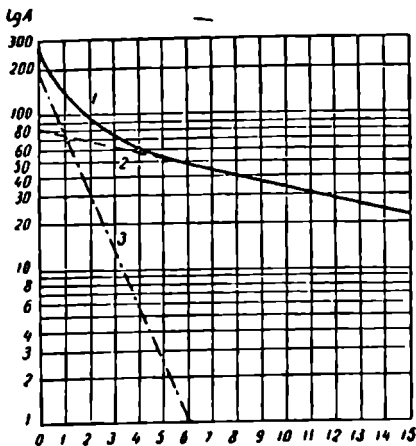
(1-26) განტოლებიდან A_1^0 და A_2^0 -ის მნიშვნელობების გრაფიკული მეთოდით გაგება შედარებით ადვილია, თუ ცნობილია პირველი და მეორე ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი, რითაც გავიანგარიშებთ პირველი და მეორე ელემენტის დაშლის სიჩქარის მუდმივას, ე. ი. λ_1 და λ_2 , ხოლო A და t-ს ექსპერიმენტულად განვსაზღვრავთ. მიღებული მონაცემებით შეგვიძლია შევადგინოთ გრაფიკი $e^{(\lambda_1 - \lambda_2)t}$ სიდიდის $Ae^{\lambda_1 t}$ -ზე დამოკიდებულებით. თუ მათი ნახევრად დაშლის პერიოდები დიდად არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, შედგენილი გრაფიკი მოგვეცემს სწორ ხაზს. მისი გადახრის კუთხიდან აბცისის ღერძზე ვპოულობთ A_2^0 , ხოლო ორდინატის ღერძის გადაკვეთის წერტილზე კი $-A_1^0$.

ზოგადი სახით „n“ რაოდენობის სხვადასხვა რადიოაქტიური ელემენტის ნარევის შემთხვევაში გვექნება $A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$. ასეთი მრავალრიცხოვანი, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაშლის უნარის მქონე რადიოაქტიურ იზოტოპთა ნარევისათვის რადიოიზოტოპთა ჯამური დაშლის გამომხატველი მრუდი $\log A - t$ კოორდინატებში ყოველთვის ჩაზნექილია ზემოდან, კოორდინატის საწყისი მიმართულებით კი ამოზნექილი. ჯამური დაშლის მრუდის ეს ჩაზნექილობა გაპირობებულია იმით, რომ მცირე სიცოცხლის მქონე რადიოაქტიური იზოტოპების შემცველობა ნარევეში დროთა მსვლელობაში მცირდება, როგორც საერთოდ, ისე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ელემენტებთან

შედარებით. ამრიგად, გარკვეული დროის გავლის შემდეგ იზოტოპთა ნარევი ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ელემენტი რჩება ქარბად. ამ უქანასკნელის ნახევრად დაშლის პერიოდი შეიძლება განსაზღვრული იქნეს ჭამური მრუდის იმ ნაწილით, რომელიც t დროის დიდ მნიშვნელობას უჩვენებს (ნახ. 12). თუ მრუდის ამ ნაწილის ექსტრაპოლირებას მოვახდენთ ორდინატის ღერძის მიმართ და ამ ექსტრაპოლირებულ აქტივობას გამოვაკლებთ პირველ საწყის აქტივობას, მივიღებთ მრუდს, რომელიც ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ელემენტის გამოკლებით ყველა დანარჩენი ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდს ასახავს. ეს ახლად მიღებული მრუდი თავის მხრივ შეიძლება ანალოგიურად გავშალოთ და ა. შ.

ამ ხერხით ნახევრად დაშლის პერიოდის განსაზღვრა პრაქტიკულად შეიძლება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაშლის უნარის მქონე

მაქსიმუმი სამი რადიაქტიური იზოტოპებისაგან შემდგარ ნარევი შემაჯალი ელემენტებისათვის. თუ ნარევი შემაჯალი რადიაქტიური ელემენტების ნახევრად დაშლის პერიოდი მხოლოდ ორჯერაა განსხვავებული ერთმანეთისაგან, მაშინ ამ ხერხით მხოლოდ ორი იზოტოპის ნარევისათვის შეიძლება მივიღოთ სარწმუნო შედეგი. ყველაზე კარგი შედეგი მიიღება იმ შემთხვევაში, როდესაც ხანმოკლე სიცოცხლის მქონე ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი ათჯერ ნაკლებია ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდთან შედარებით, ე. ი. როდესაც $T = 10T$.



ნახ. 12. რადიოიზოტოპთა დაშლის რთული მრუდის ანალიზი: 1—რადიოიზოტოპთა ნარევის დაშლის საერთო მრუდი; 2—ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე კომპონენტის ($T = 8$ სთ) დაშლის მრუდი; 3—ხანმოკლე სიცოცხლის მქონე კომპონენტის ($T = 0,8$ სთ) დაშლის მრუდი.

რადიაქტიური იზოტოპების დაბროვება

1. **ზოგადი განტოლება.** ზემოგანხილული ცალკეულად აღებული ერთი იზოლირებული რადიაქტიური ელემენტის გარდაქმნისა და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაშლის უნარის მქონე ნარევის გარდა,

როგორც ზემოთ რადიაქტიური მწკრივების განხილვის დროს აღვნიშნეთ, ხშირად დედისეული ელემენტის დაშლის შედეგად წარმოიქმნება ნაშიერი რადიაქტიური ელემენტი (დედისეული ელემენტის დაშლის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტი).

განვიხილოთ ზოგადი სახით დედისეულ ელემენტიდან (N_1) წარმოქმნილი ნაშიერი ელემენტის (N_2) დაგროვების კინეტიკა. (1—15) განტოლების თანახმად, დროის ერთეულში დაშლილი ატომების აბსოლუტური

რაოდენობა უდრის $-\frac{\Delta N_1}{\Delta t} = \lambda_1 N_1$, ხოლო (1—17) განტოლებიდან კი

$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$, სადაც საწყის მომენტში, როდესაც $t = 0$, მაშინ $N_1 = N_1^0$. აქედან ცხადია, რომ დედისეული ელემენტის (N_1) დაშლისას ნაშიერი რადიაქტიური ელემენტის (N_2) წარმოქმნა მიმდინარეობს იმავე სიჩქარით, რა სიჩქარითაც იშლება დედისეული ელემენტი, ე. ი. თვით ნაშიერი რადიაქტიური ელემენტი იშლება $\lambda_2 N_2$ სიჩქარით. მაშასადამე, Δt დროის მონაკვეთში ნაშიერი რადიაქტიური ელემენტის ატომების რიცხვი მისი დაშლის გამო მცირდება $\lambda_2 N_2$ სიდიდით და, ვინაიდან ნაშიერი რადიაქტიური ელემენტი (N_2) ერთდროულად დედისეული ელემენტის (N_1) გარდაქმნის შედეგად წარმოიქმნება, ამიტომ დროის იმავე Δt მონაკვეთში მისი რაოდენობა გაიზრდება $N_1 \lambda_1$ სიდიდით.

ვთქვათ, ΔN_2 არის ატომების რიცხვის ნამატი Δt დროის მონაკვეთში, მაშინ:

$$\Delta N_2 = (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) \cdot \Delta t, \text{ საიდანაც } \frac{\Delta N_2}{\Delta t} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\text{ან } \frac{\Delta N_1}{\Delta t} + \lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_1, \text{ რადგან } N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}, \text{ ამიტომ}$$

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta t} + \lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} = 0.$$

ამ პირველი რიგის ხაზოვანი დიფერენციალური განტოლების გადაწყვეტის საბოლოო შედეგი იქნება:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}, \quad (1-27)$$

სადაც N_1^0 და N_2^0 მნიშვნელობები N_1 და N_2 -ის ტოლია, როდესაც $t = 0$. (1—27) განტოლებაში პირველი შესაქრები გვიჩვენებს დედისეული ელემენტის დაშლის შედეგად ნაშიერის (წარმოქმნილი პროდუქტის) დაგროვებას და ამ ნაშიერი ელემენტის ატომების დაშლას, ხოლო მეორე შესაქრები—ნაშიერი ელემენტის (N_2) ატომების საწყისი რაოდენობის (რიცხვის) დაშლას.

2. მოძრავი წონასწორობა. რადიაქტიური წყვილის (დედისეულისა და ნაშიერის გაანგარიშებისათვის) (1—27) განტოლების გამოყენებისას ორი ძირითადი შემთხვევა უნდა იქნეს მხედველობაში მიღებული. კერძოდ ის, თუ რომელ ამ ორ ელემენტთაგანს აქვს უფრო დიდი ნახევრად დაშლის პერიოდი. თუ დედისეული ელემენტის სიცოცხლის ხანგრძლივობა მეტია, ვიდრე ნაშიერისა (ე. ი. $\lambda_1 < \lambda_2$), მაშინ აქტივობა რადიაქტიურ წონასწორობას აღწევს. ეს იმას ნიშნავს, რომ გარკვეული დროის გავლის შემდეგ დედისეული ელემენტის რადიაქტიური ატომების რაოდენობის შეფარდება ნაშიერის რადიაქტიურ ატომებთან და, მაშასადამე, მათი დაშლის სიჩქარის შეფარდებაც მუდმივი გახდება. ეს უშუალოდ გამომდინარეობს (1—27) განტოლებიდან. ხოლო როდესაც λ_1 გახდება საკმაოდ დიდი, მაშინ (1—27) განტოლების მაჩვენებლიანი წევრი $e^{-\lambda_1 t}$ მაჩვენებლიან წევრ $e^{-\lambda_2 t}$ -თან შეფარდებით გახდება უსასრულოდ მცირე, მაშასადამე, შესაკრები $N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$ ასევე უსასრულოდ მცირე იქნება და შევვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ. ამრიგად, (1—27) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t}.$$

(1—17) განტოლებიდან $N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$, ამიტომ

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} \text{ ან } N_2(\lambda_2 - \lambda_1) = N_1 \lambda_1 \text{ აქედან } N_2 \lambda_2 = N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_1.$$

(1—28)

(1—28) განტოლება მოძრავი წონასწორობის დამახასიათებელია, საიდანაც ნათლად ჩანს, რომ მოძრავი წონასწორობისას დროის ერთეულში ნაშიერი ელემენტის ატომები ყოველთვის რამდენადმე მეტი რაოდენობით იშლება, ვიდრე დედისეული ელემენტის ატომები, ე. ი.

$$N_2 \lambda_2 > N_1 \lambda_1.$$

მიუხედავად ამისა, მაინც ძალაში რჩება წონასწორულ მდგომარეობისას გენეტიკურ კავშირში მყოფი ორი რადიაქტიური ელემენტის რაოდენობის შეფარდების მუდმივობა დროის შეფარდების დამოუკიდებლად. გამომდინარე აქედან, თუ ცნობილია რადიაქტიურ წონასწორობაში მყოფი ერთ-ერთი ელემენტის რაოდენობა, შეიძლება განვსაზღვროთ მეორე ელემენტის რაოდენობა.

ვიწინიდან (1—25) განტოლების თანახმად, $A_1 = C_1 \lambda_1 N_1$; $A_2 = C_2 \lambda_2 N_2$. ამიტომ პრაქტიკულად გასაზომი აქტივობის შეფარდება ტოლია:

$$\frac{C_2 A_1}{C_1 A_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2}; \quad \frac{A_1}{A_2} = \frac{C_1 (\lambda_2 - \lambda_1)}{C_2 \lambda_2}.$$

(1—29)

(1-28) და (1-29) განტოლებიდან ნათლად ჩანს, რომ მათი მარჯვენა წევრები არ არიან ტოლი. კონკრეტულ შემთხვევაში, როდესაც თვლის კოეფიციენტი ერთნაირია, ე. ი. $C_1 = C_2$, მაშინ დედისეული ელემენტის აქტივობის შეფარდება ნაშიერი ელემენტის აქტივობასთან უდრის $\frac{A_1}{A_2} = 1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$. დაშლის სიჩქარის მუდმივათა λ_1 და λ_2 თანაფარ-

დობასთან დამოკიდებულებით, $\frac{A_1}{A_2}$ შეფარდება შეიძლება მიიღოს ყველა მნიშვნელობა 0-დან 1-მდე. ამრიგად, წონასწორული მდგომარეობის დროს ნაშიერი ელემენტების აქტივობა დედისეულზე მეტია $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$

ფაქტორით. წონასწორული მდგომარეობის დროს ორივე რადიაქტიური ელემენტის აქტივობა მცირდება (იშლება) დედისეულ ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდით, ვინაიდან დროის ერთეულში წარმოიქმნება ნაშიერი ელემენტის იმდენი ატომი, რამდენიც დაიშლება, ხოლო წარმოქმნა კი გაპირობებულია დედისეული ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდით. წონასწორობა დაირღვევა მხოლოდ მაშინ, როდესაც მათ ერთმანეთს დაეცილებთ იმ შემთხვევაში, როდესაც $\lambda_2 > \lambda_1$. მაშინ საწყისი (სუფთა დედისეული ფრაქცია) დედისეული და ნაშიერი ელემენტების ჯამური აქტივობა პირველ ხანებში თანდათან მატულობს, აღწევს მაქსიმუმს; ხოლო ამის შემდეგ მყარდება მოძრავი წონასწორობა. მე-13 ნახაზზე გამოსახულია მოძრავი წონასწორობის კანონზომიერება $\lambda_1 > \lambda_2$

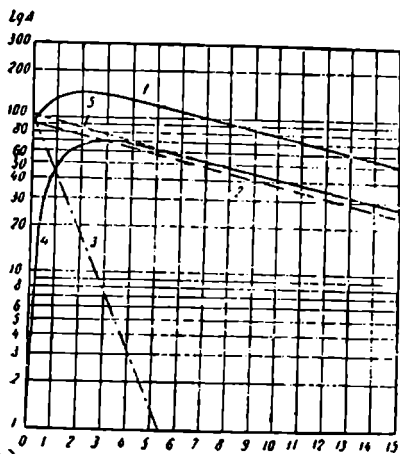
$$\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1}{10}\right) \text{ პირობით.}$$

თუ დედისეულ და ნაშიერ ელემენტების თვლის კოეფიციენტი არ არის ერთნაირი, მაშინ ($A = A_1 + A_2$) ჯამური დაშლის მრუდის მაქსიმუმში გაპირობებულია $\left(\frac{C_2}{C_1} > \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)$ უტოლობით. ეს პირობა არ არის დამოკიდებული λ_1 და λ_2 ფარდობით სიდიდეზე და ყველა შემთხვევაში სამართლიანია.

$\lambda_1 - \lambda_2 \leq C^2/C_1 \leq \lambda^1/\lambda_2$ პირობებში ჯამური მრუდის მაქსიმუმი გადაინაცვლებს აბციისის ღერძის უარყოფითი მნიშვნელობის მხარეში (არეში).

თუ დედისეული ელემენტის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ნაკლებია, ვიდრე ნაშიერი ელემენტისა (ე. ი. $\lambda_1 > \lambda_2$), მაშინ რადიაქტიური წონასწორობა საერთოდ არ მყარდება. ასეთ პირობებში ნაშიერი ელემენტისაგან წინასწარ გასუფთავებული, ე. ი. სუფთა დედისეული ელემენ-

ტის ფრაქციის დაშლასთან ერთად ნაშიერი ელემენტის ატომების რაოდენობა თანდათან იზრდება, მიღწევს რა მაქსიმუმს, იშლება ზისთვის დამახასიათებელი ნახევრად დაშლის პერიოდით (T). ასეთებია დედისე-

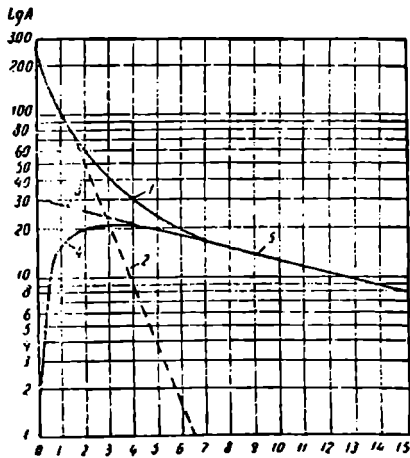


დრო საათობით

ნახ. 13. მოძრავი წონასწორობა: 1—სუფთა დედისეული ფრაქციის სრული აქტივობა; 2—დედისეული ელემენტის აქტივობა მაშინ, როდესაც $T = 8$ სთ; 3—ახლად გამოყოფილი და იზოლირებული ნაშიერი ელემენტის ფრაქციის დაშლა ($T = 0,8$ სთ); 4—დედისეული ელემენტის ფრაქციიდან ახლად გასუფთავებულ (გამოყოფილი) ნაშიერი ელემენტის აქტივობის ზრდა დროის მიხედვით; 5—დედისეული და ნაშიერი ელემენტების ნარევი ნაშიერი ელემენტის სრული აქტივობა.
მრული შედგენილია $C_1 = C_2$ პირობით.

ული ელემენტი $^{209}\text{Tl}_{81}$ ($T = 22$ წთ) და ნაშიერი ელემენტი $^{209}\text{Pb}_{82}$ ($T = 3,3$ სთ); $^{217}\text{At}_{85}$ ($T = 0,018$ წმ) და $^{213}\text{Bi}_{83}$ ($T = 47$ წთ); $^{231}\text{Th}_{90}$ ($T =$

ნახ. 14. მოცემულია შემთხვევა, როცა რადიოაქტიური წონასწორობა არ მყარდება: 1—სრული აქტივობა; 2—დედისეული ელემენტის აქტივობა ($T = 0,8$ სთ); 3— $t = 0$ -ის მიხედვით ექსტრაპოლირებული მრუდის დაშლის ბოლო; 4—სუფთა დედისეული ელემენტის პირველსაწყისი მომენტიდან ნაშიერი ელემენტის წარმოქმნა და ზრდა ($T = 8,0$ სთ); 5—მრული 1 და 4-ის საერთო ნაწილი. ნახ. 14 წარმოადგენს შემთხვე-



ვას, როცა $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 10^2$. მრული 5-ის სწორბაზოვან დაქანებაში 1-ლი და მე-4 მრუდები შერწყმულია ერთ ხაზად, რომელიც შეესაბამება $T = 8,0$ სთ დაშლის კანონს.

დრო საათობით

= 25,6 სთ) და — $^{231}\text{Pa}_{91}$ ($T = 3,48 \cdot 10^4$ წელი); $^{232}\text{Pa}_{91}$ ($T = 27$ დღეს) და — $^{233}\text{U}_{92}$ ($T = 1,62 \cdot 10^6$ წელი) და ა. შ.

ეს კანონზომიერება მოცემულია მე-14 ნახ-ზე.

როგორც ვხედავთ, როდესაც დედისეული ელემენტის სიცოცხლის ხანგრძლივობა დიდად ნაკლებია ნაშიერი ელემენტის სიცოცხლის ხანგრძლივობასთან შედარებით (ე. ი. $\lambda_1 \gg \lambda_2$), მაშინ დედისეული ელემენტის (N_1) ატომთა რაოდენობა სწრაფად გარდაიქმნება. ნაშიერი ელემენტის (N_2) ატომებად. აიღოთ მაგალითად ნაშიერი, როდესაც $t = 0$, მაშინ N_2 -ის მნიშვნელობა N_1 -ის ტოლად შეიძლება ჩავთვალოთ. თუ C_1 და C_2 კოეფიციენტების შეფარდება ცნობილია, მაშინ დედისეული ელემენტის საწყისი აქტივობის $C_1 \lambda_1 N_1^0$ და ამ ექსტრაპოლირებული აქტივობის $C_2 \lambda_2 N_2^0$ შეფარდებიდან შეიძლება მივიღოთ ნაშიერისა და დედისეული ელემენტების ნახევრად დაშლის პერიოდების შეფარდება:

$$\frac{C_1 \lambda_1 N_1^0}{C_2 \lambda_2 N_2^0} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}, \text{ როდესაც } C_1 = C_2,$$

$$\text{მაშინ } \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (1-30)$$

ეს განტოლება სამარტინიანი, მაშინ როდესაც $\lambda_1 \gg \lambda_2$. წინააღმდეგ შემთხვევაში $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ შეფარდება უნდა შეიცვალოს $(\lambda_1 - \lambda_2)/\lambda_2$, შესაბამისად უნდა შეიცვალოს მარტინიანი ნაწილიც. ბუნებრივად, შეიცვლება აგრეთვე ნახევრად დაშლის პერიოდის შემცველი გამოხატულებაც.

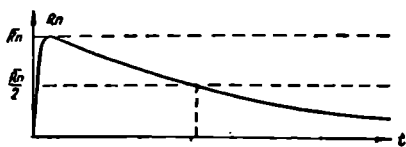
8. საუკუნეობრივი წონასწორობა. საუკუნეობრივი წონასწორობა ეწოდება რადიოაქტიური წონასწორობის ზღვრულ შემთხვევას, როდესაც $\lambda_1 < \lambda_2$ და დედისეული ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი მრავალჯერ აღემატება ნაშიერი ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდს. ასეთ პირობებში დედისეული ელემენტის აქტივობა პრაქტიკულად უცვლელად შეიძლება ჩავთვალოთ. საუკუნეობრივი წონასწორობა ახასიათებს ზემოთ განხილულ რადიოაქტიურ მწკრივებს, ეონიდან მათი პირველსაწყისი და ზოგჯერ შუალედი ($^{234}\text{U}_{92}$, $^{234}\text{Pa}_{91}$, $^{230}\text{Th}_{90}$ და სხვა) ელემენტების ნახევრად დაშლის პერიოდი დიდია. მათთვის რადიოაქტიური წონასწორობა მყარდება მაშინ, როდესაც t გახდება უსასრულოდ დიდი.

საუკუნეობრივი წონასწორობის გაანალიზება (1—28) განტოლებიდან შეიძლება, მაგრამ უფრო ნათლად წარმოდგენის მიზნით მას ვიზილურად კონკრეტულ მაგალითზე დაყრდნობით.

განვიხილოთ ურან-რადიუმის მწკრივიდან რადონის დაგროვების კინეტიკა. რადონის წარმოქმნელი დედისეული ელემენტის რადიუმის ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=1622$ წელს, ხოლო რადონისა $T=3,82$ დღეს. ცხადია, რადონის დაგროვების სიჩქარე არა მარტო მისი წარმოქმნის სიჩქარის ფუნქციას, არამედ მისი დაშლის სიჩქარის ფუნქციასაც წარმოადგენს. ამიტომ სუფთა დედისეულ ელემენტ რადიუმიდან ნაშიერ ელემენტ რადონის რაოდენობა საწყის მომენტში სწრაფად იზრდება და აღწევს ზღვრულ მაქსიმალურ სიდიდეს (ნახ. 15-ში Rn წერტილი). შემდეგში რადონის რაოდენობა N_2 -ს კლებულობს დედისეული ელემენტის შემცირების გამო. ამ დროს Rn მრუდისა და $\frac{Ra}{2}$

სწორი ხაზის გადაკვეთის TRa წერტილით განისაზღვრება რადიუმის ნახევრად დაშლის პერიოდი (ნახ. 15). სხვა გზით რადიუმის ნახევრად დაშლის პერიოდის განსაზღვრა შეუძლებელია, ვინაიდან ექსპერიმენტატორი მთელ თავის სიცოცხლეში წონასწორულ მდგომარეობაში მყოფ

რადიუმ-რადონის აქტივობის შესამჩნევ შემცირებას ვერ აღწევს, რადგან რადიუმის ნახევრად დაშლის პერიოდი მეტისმეტად ხანგრძლივია ($T=1622$ წელს). ახლა შეიძლება განვიხილოთ დედისეულ და ნაშიერ ელემენტების წარმოქმნის წონასწორულ მდგომარეობის დამყარება ზღე ნაშიერი ელემენტის დაგროვების კინეტიკა $Ra(N_1) \rightarrow Rn(N_2)$ სისტემის საფუძველზე.

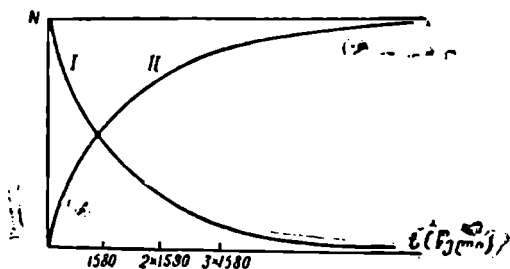


ნახ. 15. შექერწილ მილაკში რადიუმიდან რადონის დაგროვება და დაშლის მრუდი.

მე-16 ნახაზზე გამოსახულია რადიუმის დაშლის დაღმავალი მრუდი (1). იგი შეესაბამება რადიუმის იმ რაოდენობას, რომელიც t დროის გავლის შემდეგ უცვლელ მდგომარეობაში რჩება. აღმავალი მრუდი (2) გამოსახავს რადიუმიდან გამოყოფილი რადონის დაგროვებას იმავე t დროის განმავლობაში. და რადგან რადონის ნახევრად დაშლის პერიოდი ($T=3,82$ დღეს) ბევრად უფრო მცირეა, ვიდრე რადიუმისა ($T=1622$ წელიწადს), ამიტომ რადიუმის ატომების რაოდენობა პრაქტიკულად უცვლელად შეიძლება ჩათვალოს. ვთქვათ, Δt დროის მონაკვეთში რადონის ატომების რიცხვი მათი დაშლის გამო მცირდება $\lambda_2 N_2$ სიდიდით და ვინაიდან რადონი ერთდროულად რადიუმის გარდაქმნის შედეგად წარმოიქმნება, ამიტომ იმავე Δt დროის მონაკვეთ-

ში მისი რაოდენობა გაიზრდება $\lambda_1 N_1$ სიდიდით. ვთქვათ, ΔN_2 არის ატომების რიცხვის ნამატი Δt დროის მონაკვეთში, მაშინ

$$\Delta N_2 = (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) \cdot \Delta t, \text{ საიდანაც } \frac{\Delta N_2}{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2} = \Delta t,$$



დრო, დღეებით

ნახ. 16. სუფთა რადონის დაგროვებისა და დაშლის მრუდი

$$1-N_{Rn} = \bar{N}_{Rn} e^{-\lambda_1 t}; \quad 2-N_{Rn} = \bar{N}_{Rn} (1 - e^{-\lambda_2 t}).$$

ამ განტოლების ინტეგრირებით მივიღებთ:

$$I_{II} = \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \lambda_2 t \text{ ან } \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 e^{-\lambda_1 t}.$$

აქედან $N_2 = N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t})$ ჩვენს შემთხვევაში

$$N_{Rn} = \bar{N}_{Rn} (1 - e^{-\lambda Rn t}). \quad (1-31)$$

დროის შუალედში დიდი ნახევრად დაშლის პერიოდის მქონე რადიოაქტიური ელემენტებიდან წარმოქმნილი რადიოაქტიური ელემენტის (მოცემულ შემთხვევაში რადონის) აქტივობა წონასწორულ მდგომარეობას აღწევს. ამ პირობებში დროის ერთეულში წარმოიქმნება რადონის იმდენი ატომი, რამდენიც დაიშლება. ამ დროს რადონის რაოდენობა მის წარმოქმნელ დედისეულ ელემენტ რადიუმთან რადიოაქტიურ წონასწორობაში იმყოფება. წონასწორობა დაირღვევა იმ შემთხვევაში, თუ დედისეულ ელემენტსა და მისგან წარმოქმნილ პროდუქტს (მოცემულ შემთხვევაში რადიუმსა და რადონს) ერთმანეთს დავაცილებთ. თეორიულად წონასწორული მდგომარეობა მყარდება მაშინ, როდესაც t გახდება უსასრულოდ დიდი, ასეთ პირობებში (1-31) განტოლების მაჩვენებლიანი წევრი ნულს გაუთანასწორდება და მივიღებთ:

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (1-32)$$

წამასალამე, $\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ ან $\frac{N_2}{N_1} = \frac{T_2}{T_1}$,

ან კიდევ $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$. (1-33)

ე. ი. წონასწორობაში მყოფი რადიაქტიური ელემენტების რაოდენობანი ისე ეფარდებიან ერთმანეთს, როგორც მათი დაშლის სიჩქარის მუდმივები ან მათი ნახევრად დაშლის პერიოდები.

საუკუნეობრივი წონასწორობის შემთხვევაში, როდესაც დედისეული ელემენტის დაშლის სიჩქარის მუდმივა (λ_1) უსასრულოდ მცირეა ნაშიერი ელემენტის დაშლის სიჩქარის მუდმივასთან (λ_2) შედარებით (ე. ი. $\lambda_1 \ll \lambda_2$), მაშინ (1-29) განტოლების მარჯვენა ნაწილი ერთს გაუთანასწორდება და მივიღებთ:

$$\frac{C_2 A_1}{C_1 A_2} = 1 \quad \text{ან} \quad \frac{A_1}{A_2} = \frac{C_1}{C_2}. \quad (1-34)$$

როდესაც $C_1 = C_2$, მაშინ დედისეული და ნაშიერი ელემენტების გასაზომი აქტივობა ტოლია, ე. ი. $A_1 = A_2$.

საუკუნეობრივი წონასწორობა გამოსახულია ნახ. 17-ზე.

მკაცრად რომ ითქვას, სრული რადიაქტიური წონასწორობა არ შეიძლება დამყარდეს. მაგრამ მას შემდეგ, როდესაც $t = 10T_{R_{II}}$, წონასწორულ მდგომარეობიდან გადახრა უდრის $\sim 0,1\%$, ე. ი. ძალიან უმნიშვნელოა და შეიძლება წონასწორულ მდგომარეობად ჩავთვალოთ. აქედან ჩამოყალიბდა წესი—ნახევრად დაშლის 10 პერიოდი. ამრიგად, ორი, ურთიერთშორის გენეტიკურ კავშირში მყოფი რადიაქტიური იზოტოპების ნარევიში $t = 10T$ დროის გავლის შემდეგ მყარდება რადიაქტიური წონასწორობა, სადაც T არის მცირე სიცოცხლის მქონე ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი. აქედან გამომდინარეობს მეორე წესი: ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტი პრაქტიკულად სრულ დაშლას განიცდის ნახევრად დაშლის ათი პერიოდის გავლის, შემდეგამ შემთხვევაშიაც გამოსავალი რაოდენობიდან დაახლოებით რჩება $0,1\%$, რაც შეიძლება შემოწმდეს, თუ (1-17) ფორმულაში $N = N_0 e^{-\lambda t}$ -ში t მაგივრად ჩავსვათ $10T$.

ისე როგორც რადიუმი, რადონიც წარმოადგენს ურან-რადიუმის მწკრივის ერთ-ერთ შუალედ წევრს, რომლის გარდაქმნით წარმოიქმნება ($^{218}\text{Po}_{84}$). რადიაქტიური წონასწორული მდგომარეობის დროს პოლონიუმის წარმოქმნის სიჩქარე უდრის რადონის დაშლის სიჩქარეს

და ა. შ. მომდევნო რადიქტიური ელემენტებიც ანალოგიურ გარდაქმნებს განიცდიან. წონასწორული მდგომარეობის დროს შუალედი რადიქტიური ელემენტის დაშლა და წარმოქმნა ერთნაირი სიჩქარით მიმდინარეობს. ამიტომ მთელი მწკრივის წევრებისათვის ტოლობა შეძლება შემდგენიარად დავწეროთ:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_i N_i = \dots = \lambda_{n-1} N_{n-1}, \quad (1-35)$$

სადაც 1, 2, 3..., i... n ინდექსი მწკრივის მომდევნო წევრების მაჩვენებელია.

4. ნაშიერი ელემენტის მაქსიმალური რაოდენობით დაგროვებისათვის საჭირო დროის (tm) გაანგარიშება. როგორც მოძრავი რადიქტიური წონასწორობის, ისე ისეთ შემთხვევაშიც, როდესაც, საერთოდ, რადიქტიური წონასწორობა არ მყარდება, ხშირად წამოიქრება საკითხი სუფთა (ახლად გამოყოფილი) დედისეული ფრაქციიდან ნაშიერი ელემენტის მაქსიმალური რაოდენობით დაგროვების მისაღწევად საჭირო დროის (tm) გაანგარიშების შექაჩებ. ამ ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელია (1-27) ზოგადი განტოლების დიფერენცირებით.

ცხადია, საწყის მომენტში, როდესაც ახლად გამოყოფილია დედისეული ელემენტი, მაშინ ნაშიერი ელემენტის ატომთა რაოდენობა $N_2^0 = 0$. მაშასადამე:

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta t} = - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_2 t}.$$

როდესაც $t = tm$ და $\frac{\Delta N_2}{\Delta t} = 0$, მაშინ $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = e^{(\lambda_2 - \lambda_1) tm}$.

აქედან ნაშიერი ელემენტის მაქსიმალური რაოდენობით დაგროვებისათვის საჭირო დრო (tm) იქნება:

$$tm = \frac{2,303}{\lambda_2 - \lambda_1} \log \frac{\lambda_2}{\lambda_1}. \quad (1-36)$$

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი:

გავიგოთ სუფთა დედისეული ფრაქცია სტრონციუმ-90-იდან ნაშიერი ელემენტი იტრიუმ-90-ის მაქსიმალური რაოდენობით დაგროვების მისაღწევად საჭირო დრო (tm).

1) გავიგოთ რას უდრის სტრონციუმ-90-ისა და იტრიუმ-90-ის დაშლის სიჩქარის მუდმივა?

$$a) \lambda sr^0 = \frac{0,693}{29.365 \cdot 24.60.60} = 7,65 \cdot 10^{-10} \text{ წამი}^{-1};$$

$$\delta) \lambda \gamma^{90} = \frac{0,693}{64,2 \cdot 60 \cdot 60} = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ წამი}^{-1}.$$

მიღებული მონაცემები ჩაესკათ (1-25) განტოლებაში და მივიღებთ:

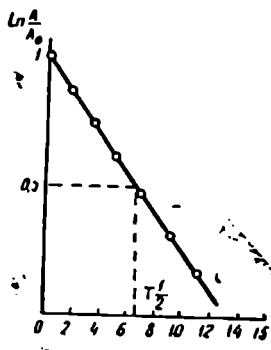
$$\ln \gamma^{90} = \frac{2,303}{3,0 \cdot 10^{-6} - 7,65 \cdot 10^{-10}} \log \frac{3,0 \cdot 10^{-6}}{7,65 \cdot 10^{-10}} = 767666,7.$$

$-\log(3,0 \cdot 10^{-6}) - \log(7,65 \cdot 10^{-10}) = 76765,67 \cdot (0,47712 + 4 - 0,83356) =$
 $= 767666,7 \cdot 3,59346 = 2758580$ წამი, ანუ დაპრეკალბებულად 32 დღე,
 ე. ი. $\ln = 32$ დღეს, მაშაადაჰე, ნაშიერ ელემენტის იტრიუმ-90-ის მაქ-
 სიმალური რაოდენობით დაგროვებისათვის საჭიროა 32 დღე და არა 25
 დღე, როგორც ეს ზოგიერთ ლიტერატურაშია მოცემული.

5. ნახევრად დაშლის პერიოდის განსაზღვრის ხერხები. I. დაშ-
 ლის მრუდის მიხედვით. თუ გამოსაკლევი რადიოიზოტოპის
 ნახევრად დაშლის პერიოდის მნიშვნელობა მდებარეობს რამდენიმე წა-
 მისა და რამდენიმე წელს შორის, მაშინ ნახევრად დაშლის პერიოდი
 განსაზღვრა უფრო მოხერხებულია გრაფიკული ხერხით. გრაფიკის შედ-
 გენისათვის საჭირო მონაცემების მიღების მიზნით რადიოაქტიური მინა-
 რეებისაგან კარგად გასუფთავებული რადიოიზოტოპის აქტივობას ყო-
 ველ გარკვეულ დროის გავლის შემდეგ თანმიმდევრობით რამდენიმე-
 ჯერ ზომავენ რადიომეტრულ ხელსაწყოთი. აბცისის ღერძზე განალა-
 გებენ აქტივობის გაზომვის დროს (t), ხოლო ორდინატის ღერძზე კი

შესაბამისი აქტივობის ლოგარითმულ ($\log A$)
 მნიშვნელობებს. მიღებულ გრაფიკიდან საზღ-
 რავენ ნახევრად დაშლის პერიოდს (T-ს), რო-
 გორც ეს მოცემულია ნახ. 17-ზე.

ამ ხერხით ნახევრად დაშლის პერიოდის
 სწორად განისაზღვრება იმ შემთხვევაში, თუ
 პრეპარატი კარგადაა გასუფთავებული რადი-
 აქტიურ იზოტოპთა მინარეებისაგან. მაშინ
 გრაფიკზე ნაჩვენებ კოორდინატებს შორის მიი-
 ლება სწორი ხაზი (ნახ. 17). თუ რადიოაქტი-
 ური იზოტოპების ნარევეთან გვაქვს საქმე და
 მათი განცალკევება ძნელია, მაშინ ექვევით
 ისე, როგორც ეს გვაქვით რაული მრუდის
 დაშლის ანალიზის დროს (ნახ. 12), ან მას ვლე-
 ბულობთ რადიოაქტიური გარდაქმნის ზოგადი
 ფორმულით.



აქტივობის გაზომვის დრო

ნახ. 17. რადიოიზოტოპების
 აქტივობის უცვლილება დროის
 მზებდეთ ნახევარლოგარითმულ
 კოორდინატებში.

II. ცვლადი შეკავები თი და თანმთხვეული სქემის მიხედვით. ნახევრად დაშლის პერიოდის განსაზღვრის ეს მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც დედისეული ელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი (T) საშუალოა ან დიდია, ხოლო ნაშიერი ელემენტისა კი ძალიან მცირეა — წამზე ნაკლები. აღნიშნული მეთოდის ერთ-ერთ ნაირსახეობას წარმოადგენს შეკავებითი, თანმთხვეული მეთოდი, რომელიც დამყარებულია იმაზე, რომ დედისეული ელემენტის დაშლის შედეგად აღძრული იმპულსები გადამთვლელ რადიომეტრულ ხელსაწყოს მრიცხველ ელექტრულ სქემაზე შეკავდება λ დროის განმავლობაში: იგი შეკავდება თანხლებული სქემის მიხედვით ნებადართულ P დროის დიაპაზონში. გადამთვლელ ხელსაწყოს ელექტრომოწყობილობის საშუალებით შეკავების დროს (t) გაზომვისას თანმთხვეული თვლის სისწრაფე იცვლება, ე. ი. თანმთხვევის რიცხვი იცვლება P ერთეულის სიდიდით. რადგან $\log t$, P და T შორის არსებობს სწორხაზოვანი დამოკიდებულება, ამიტომ თანმთხვევის სისწრაფისა (P) და შეკავების λ დროის გაზომვით მიღებული ლოგარითული რიცხვების კოორდინატებში განლაგებით მიიღება რადიაქტიური ელემენტთა დაშლის ტიპური მრუდი. სინტილაციური მრიცხველის გამოყენებისას ამ მეთოდით შეიძლება გაიზომოს ნახევრად დაშლის პერიოდი 10⁻¹¹ წამამდე.

III. რადიაქტიური წონასწორობის მიხედვით. ამ ხერხით ნახევრად დაშლის პერიოდის განსაზღვრისათვის უნდა დადგინდეს დედისეული იზოტოპის რაოდენობა და დედისეული და ნაშიერი ელემენტების სრულ რადიაქტიურ წონასწორობაში მყოფ ნარევიდან ძალიან სუფთა სახით გამოყოფილი ნაშიერი ელემენტის დაშლის სიჩქარის λ_2 მუდმივა და სუფთად გამოყოფილი დედისეული ელემენტის დაშლის სიჩქარის λ_1 მუდმივა. მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების (1—33) ფორმულაში:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

ან

$$\lambda_1 N_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) N_2$$

ჩასმით მიიღება მოცემული რადიოელემენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი. ამ ხერხით განისაზღვრა ურანის ძველ მადანში ურან-235-ის, პროტაქტინიუმ-231-ისა და სხვ. დაშლის სიჩქარის მუდმივა, მათ მიერ გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკის თვლის სიჩქარის მიხედვით, ხოლო ნახევრად

დაშლის პერიოდი კი $T = \frac{0,693}{\lambda}$ ფორმულით.

IV. გეიგერ-ნეტროლის კანონის საშუალებით. რადიაქტიურ მწკრივში შემავალი ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტე-

ბის ნახევრად დაშლის პერიოდი შეიძლება განისაზღვროს ალფა-ნაწილაკების განარბენი კვალის (R) ან ალფა-ნაწილაკების ენერჯიის (E) გამოვით. მიღებული შედეგების დამუშავება წარმოებს გეიგერ-ნეტონის მიერ ემპირიული გზით დადგენილი თანაფარდობის გამოყენებით

$$\log R = A \log \lambda + B. \quad (1-37)$$

B და A მუდმივებს ექსპერიმენტული გზით პოულობენ და გებულობენ დაშლის სიჩქარის λ -მუდმივას, შემდეგ კი საზღვრავენ ნახევრად დაშლის პერიოდს $T = \frac{0,693}{\lambda}$ ფორმულით. ბეტა-აქტიური ელემენტისათვის კი იგი გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\lambda = KE_{\beta}^2,$$

ზადაც K-მუდმივა დამოკიდებულია იზოტოპების თვისებებსა და შთანთქმელ გარემოზე.

V. ხ ე დ რ ი თ ი ა ქ ტ ი ვ ო ბ ი ს მ ი ხ ე დ ვ ი თ. ვინაიდან ძალიან ხანგრძლივი სიცოცხლის (ე. ი. ძალიან ხანგრძლივი ნახევრად დაშლის პერიოდის) მქონე რადიაქტიური ელემენტებისათვის აქტივობა $A = \lambda N$ ექსპერიმენტატორის შესაძლო დაკვირვების (სიცოცხლის) განმავლობაში პრაქტიკულად უცვლელია, ამიტომ λ -მუდმივას განსაზღვრავენ შემდეგი შეფარდებიდან:

$$\lambda N = - \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{A}{C}$$

ამ ამოცანის გადაწყვეტისათვის საჭიროა ატომთა რაოდენობის (N)-გაგება. მას გებულობენ რომელიმე ანალიზური მეთოდით (მაგ., წონითი), ხოლო $-\frac{\Delta N}{\Delta t}$ აბსოლუტურ მნიშვნელობას კი—თვლის სისწრაფის

კოეფიციენტის (C) გაგებით. ეს მეთოდი ზუსტ შედეგს იძლევა ალფა-აქტიურ ნივთიერებათათვის. სწორედ ამ მეთოდით იქნა განსაზღვრული ურან-238-ის ნახევრად დაშლის პერიოდი, რომელიც წინასწარ გასუფთავდა მისივე დაშლის პროდუქტისაგან.

რადიაქტიური ფალთაღმრიცხველი (რადიაქტიური საათი)

ა) მ ი ნ ე რ ა ლ ე ბ ი ს ა და ს ხ ვ ა თ ა ხ ნ ო ვ ა ნ ე ბ ი ს გ ა ნ - ს ა ზ ღ რ ა. დროის რადიაქტიურ სკალას საფუძვლად უდევს ის, რომ დედამიწის ფიზიკური მდგომარეობის (წნევა და ტემპერატურა) მიუხედავად რადიაქტიური გარდაქმნის პროცესი მუდმივია. ამან მეცნიერები მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ რადიაქტიური გარდაქმნის პროცესის გამოყენებით შესაძლებელია განისაზღვროს რადიაქტიური

ელემენტების შემცველი მთის ქანების, მინერალების, ნეტეორიტებისა და სხვათა ხნოვანება რადიოაქტიურ ელემენტთა გარდაქმნის საფუძველზე.

ბ) მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა ტყვიისა და ჰელიუმის მეთოდით. კარგად დაცული ურანისა და თორიუმის შემცველ მინერალებში, მთის ქანებში და სხვ. ურანი და თორიუმი მათი დაშლის პროდუქტებთან იმყოფებიან წონასწორულ მდგომარეობაში. მათი ხნოვანების განსაზღვრისათვის საჭიროა რადიოაქტიურ მწკრივში შემავალი ერთ-ერთი ელემენტის რაოდენობრივი განსაზღვრა ანალიზური ხერხით. გავიგებთ რა რადიოაქტიურ მწკრივში შემავალ ერთ-ერთ რადიოაქტიური ელემენტის რაოდენობას, შეიძლება გავიანგარიშოთ ყველა დანარჩენის რაოდენობა, რადგან რადიოაქტიური წონასწორობის დროს შუალედი რადიოაქტიური ელემენტების დაშლა და წარმოქმნა ერთნაირი სიჩქარით მიმდინარეობს (1—35). ამიტომ

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_n N_n. \quad (1-38)$$

1. მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა ტყვიის მეთოდით. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ურან-რადიუმის, აქტინო-ურანიისა და თორიუმის რადიოაქტიური მწკრივების წევრ ელემენტთა საბოლოო დაშლის შედეგად მიიღება სტაბილური ელემენტი ტყვია, რომლის შემცველობის მიხედვით განისაზღვრება მინერალის ხნოვანება. ურანის მინერალში დაგროვილი ტყვიის მიხედვით ამ მინერალის ხნოვანება განსაზღვრა ზუსტია მაშინ, თუ ეს მინერალი გასუფთავებულია თორიუმისაგან და მანამდე არ შეიცავდა ჩვეულებრივ ტყვიას, ე. ი. 204 ატომწონიანს. ჩვეულებრივი ტყვიის არშემცველობას ადგენენ მას-სპექტროგრაფული ანალიზით, ამას გარდა ურან-238-ის მინერალი ყოველთვის შეიცავს აქტინო-ურანს (A_cU^{235}). ამრიგად, ურანის მადნებში ყოველთვის გვაქვს ურან-რადიუმის მწკრივის დაშლის საბოლოო პროდუქტი ტყვია-206 და აქტინო-ურანის დაშლის საბოლოო პროდუქტი ტყვია— 207-ის იზოტოპების ნარევი. $^{238}U_{92}$ და $^{235}U_{92}$ -ის დაშლის სიჩქარეები ($4,5 \cdot 10^6$ და $7,13 \cdot 10^8$ წელი) განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ამიტომ $^{206}Pb_{82}/^{207}Pb_{82}$ ფარდობის მიხედვით ურანის მინერალის ხნოვანების განსაზღვრა უფრო ზუსტია, ვიდრე სუფთა ტყვიის მეთოდით. იგი გაიანგარიშება ასე:

$$U_0 = U_t + ^{206}Pb_{82},$$

$$A_c U_0 = A_c U_t + ^{207}Pb_{82},$$

საიდანაც საბოლოოდ გვექნება:

$$^{206}Pb_{82} = U_t(e^{\lambda t} - 1);$$

$${}^{207}\text{Pb}_{\theta 2} = A_c U_i (e^{\lambda_c u t} - 1).$$

ორივე განტოლების ჯამის U_i -ზე გაყოფით ვღებულობთ:

$$\frac{{}^{206}\text{Pb}_{\theta 2} + {}^{207}\text{Pb}_{\theta 2}}{U_i} (e^{\lambda u t} - 1) + \frac{A_c U_i}{U_i} (e^{\lambda_c u t} - 1) \quad (i-39).$$

ამრიგად, მინერალის ხნოვანება (t) ადვილად განისაზღვრება (1—39) განტოლების მიხედვით. ცნობილია, რომ ურანის შემცველ მინერალებში $A_c U_i / U_i$ ფარდობა უდრის 0,7%, ხოლო ტყვია-206 და ტყვია-207-ის საერთო რაოდენობას გებულობენ ქიმიური ანალიზით. მრავალჯერ გაზომვით მიღებული მონაცემების საფუძველზე განტოლება (i—39) გაანგარიშებული, ურანის მინერალის საშუალო ხნოვანება სამ მილიარდ წელიწადს უდრის, რაც ექთხვევა დედაპიწის ხნოვანების ზედა ზღვარს (3.10^9 წელს),

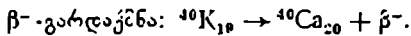
თორიუმის შემცველი მინერალებისათვის მინერალის ხნოვანება (t) ანალოგიურად გაიანგარიშება.

2. მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა ჰელიუმის მეთოდით. ამ მეთოდს საფუძველად უდევს ის, რომ ურანის ან თორიუმის დაშლისას გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების განაზღვრენი ძალიან მცირეა. ამიტომ ურანის ან თორიუმის რადიოაქტიური გარდაქმნისას გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკები, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ორ-ორ ელექტრონს შეიძენენ და ჰელიუმის (${}^4\text{He}_2$) ატომებად გარდაიქმნებიან. ეს უკანასკნელი თანდათან გროვდება მინერალში. ამავე დროს ვიცით, რომ ზემოგანხილული ურან-რადიუმის მწკრივის გარდაქმნის ერთი აქტის დროს 8 ალფა-ნაწილაკის ამოტყორცნას აქვს ადგილი, აქტინო-ურანის შემთხვევაში 7 ალფას, ხოლო თორიუმის მწკრივის გარდაქმნისას კი 6 ალფასი. ამრიგად, ზემოთ მოყვანილი (1—39) განტოლების ანალოგიურად შეიძლება მივიღოთ განტოლება, რომელიც წარმოქმნილი ჰელიუმის რაოდენობასა და ურანისა და თორიუმის დაშლის სიჩქარის λ -მულდმივას შორის დაამყარებს შემდეგ კავშირს:

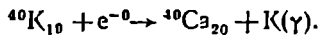
$$H_c = 8U_i (e^{\lambda u t} - 1) + 7A_c U_i (e^{\lambda_c u t} - 1) + 6Th_i (e^{\lambda_{Th} u t} - 1). \quad (1-40)$$

(1—40) განტოლების მიხედვით, მინერალის ხნოვანების განსაზღვრისათვის საჭიროა გამოსაკვლევ ნიმუშში შემცველი ჰელიუმის, ურანისა და თორიუმის რაოდენობა იქნეს განსაზღვრული და მიღებული მონაცემების (1—40) ფორმულაში ჩასმით დადგინდება მინერალის ხნოვანება.

3. მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა კალიუმის მეთოდით. ამ მეთოდის საფუძველს წარმოადგენს ბუნებრივი რადიოაქტიური კალიუმის ბეტა-გარდაქმნა და K-მიტაცება.



კალიუმის ატომების ნაწილი K-ნიტაცეზის შედეგად გარდაიქმნება არგონად:



გამოსაკვლევი ნიმუში კალციუმ-40-სა და არგონ-40-ის რაოდენობრივი განსაზღვრის საფუძველზე ადვილად გაიკეთება კალიუმ-40-ის გამოსავალი (პირვანდელი) რაოდენობა:

$$N_0 ({}^{40}\text{K}_{19}) = N ({}^{40}\text{Ca}_{20}) + N ({}^{40}\text{Ar}_{18}) + Nt ({}^{40}\text{K}_{19}).$$

საბოლოოდ გამოსაკვლევ ნიმუშში კალიუმ-40-ის შემცველობა გაინგარნიშება განტოლებით:

$$N_t ({}^{40}\text{K}_{19}) = N_0 ({}^{40}\text{K}_{19}) | - \lambda t.$$

კალიუმის მეთოდი კარგი აღმოჩნდა მეტეორიტების ხნოვანების განსაზღვრავად. გამოკვლევის შედეგად მიღებული იქნა რიცხვი 3.10^9 წელიწადის ტოლი, ე. ი. მეტეორიტების ხნოვანება დედამიწის ხნოვანების რიჯისაა.

4. ცხოველთა და მცენარეთა ნაშთებისა და სხვ. ხნოვანების განსაზღვრა რადიოაქტიური ნახშირბადის მეთოდით. ცხოველთა და მცენარეთა და სხვ. ხნოვანების განსაზღვრისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა რადიოაქტიურ ნახშირბადს ეკუთვნის. ბუნებაში რადიოაქტიური ნახშირბადი ძირითადად წარმოიქმნება კოსმოსური ნეიტრონებით აზოტის ბომბარდირების შედეგად. აღნიშნული ატომბირთვული რეაქცია მიმდინარეობს შემდეგნაირად:



ნახშირბად-14 (რადიოაქტიური ნახშირბადი) ჰაერის უანგბადთან წარმოქმნის რადიოაქტიურ ნახშირორჟანგს (CO_2). იგი შეეერევა ატმოსფეროში მყოფ ჩვეულებრივ (სტაბილური) ნახშირორჟანგს და მასთან ერთად მონაწილეობს ბუნებაში ნახშირბადის წრებრუნვაში (ე. ი. მცენარეთა ფოთლების საშუალებით. და ეს რადიოაქტიური ნახშირბადი, სტაბილური ნახშირბადის ატომებთან ერთად, გადადის მცენარეთა და, იქედან, ცხოველთა ორგანიზმში). რადგან ბუნებაში კოსმოსური ნეიტრონების ინტენსივობა პრაქტიკულად უცვლელია და დედამიწის ატმოსფეროს ბომბარდირება კოსმოსური სხივებით ხდება მილიარდი წლების განმავლობაში, ამიტომ ატმოსფეროში სტაბილურ და რადიოაქტიურ ნახშირბადებს შორის დამყარებულია საუკუნეობრივი წონასწორობა. და მაშასადამე, მცენარეთა და ცხოველთა ორგანიზმშიც ერთგვარი რადიოაქტიური წონასწორობაა დამყარებული, რადიოაქტიური ნახშირბადისა და სტაბილური ნახშირორჟანგის განაწილების თვალსაზრის-

ნათ, სანამ ეს ორგანიზმი ცოცხალია. ე. ი. სანამ ნივთიერებათა ცვლას აქვს ადგილი. მაგრამ ორგანიზმის სიკვდილის შემდეგ ნივთიერებათა ცვლა მკვდარ ნაშთსა და ბუნებას შორის წყდება და რადიოაქტიური წონასწორობაც ირღვევა. რადიოაქტიური ნახშირბადის გარდაქმნა (დაშლა) მკვდარ ორგანიზმში გრძელდება, ხოლო მისი შევსება კი — არა, ე. ი. ცხოველებისა და მცენარეების სიკვდილის შემდეგ მათ ნაშთში შემცველი რადიოაქტიური ნახშირბადის რაოდენობა მცირდება, რადიოაქტიური გარდაქმნის კანონის თანახმად. ნახშირბადის ნახევრად დაშლის პერიოდის (5720 წლის) გავლის შემდეგ მკვდარი ორგანიზმის ნაშთის თითოეულ გრამ ნახშირბადში, თუკი ის განიავებას გადაურჩა, სიკვდილის წინ მყოფი, რადიოაქტიური ატომების ნახევარი რაოდენობის რადიოაქტიური ატომები დარჩება და ა. შ. ამრიგად, მრავალი წლის წინათ მკვდარი ორგანიზმის ქსოვილის აქტივობის ზუსტი რადიომეტრული ხელსაწყოებით გაზომვით და მისი ხვედრითი აქტივობის ცოცხალი ორგანიზმის ხვედრით აქტივობასთან შედარებით შეიძლება დადგინდეს გამოსაკვლევი ობიექტის დაღუპვის დრო. ამ მეთოდით ცხოველთა და მცენარეთა ნამარხთა და სხვათა ხნოვანების დადგენის ზღვრული დრო დაახლოებით 45000 წლის ინტერვალით განისაზღვრება. ამ მეთოდით დადგინდა ის, რომ ამერიკის კონტინენტზე უკანასკნელი ყინულოვანი ხანა იყო დაახლოებით 11000 წლის წინათ და არა 25000 წლის წინათ, როგორც ამას გეოლოგები შეცდომით ვარაუდობდნენ. ამავე მეთოდით ზუსტად დადგინდა აგრეთვე ფარაონების აკლდამის ხნოვანება. ნახშირბადის მეთოდით დადგინდა, რომ ორი ბიზონის ამსახველი საუცხოო ნახატი, რომელიც აღმოჩენილ იქნა საფრანგეთში ლასკას გამოქვაბულის კედელზე, შესრულებული იყო წინაისტორიული პერიოდის ადამიანის მიერ 15516 ± 900 წლის წინათ და ა. შ.

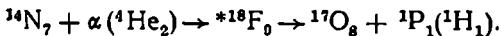
ამრიგად, რადიოაქტიური საათი ფართოდ გამოიყენება მინერალებისა და სხვათა ხნოვანების განსაზღვრისათვის და სხვა მეთოდებთან შედარებით წარმოადგენს უფრო ზუსტ მეთოდს. მაგრამ არც ეს მეთოდი არის დაზღვეული ცდომილებისაგან. ასე, მაგალითად, ტყვიის მეთოდის შემთხვევაში ცდომილება გამოწვეულია გეოლოგიური პერიოდების განმავლობაში ტყვიის ნაწილობრივ გამორეცხვით მინერალებიდან. ჰელიუმის მეთოდის შემთხვევაში არ არის გამორიცხული ჰელიუმის დიფუზია გარემოში, რაც მის ნაწილობრივ დაკარგვას იწვევს, მაგრამ არც მისი გაზრდა გამორიცხული ჰაერში მყოფ ტრიტიუმის კოსმოსური ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად. ამიტომ შედარებით ზუსტ მეთოდად ითვლება ურან-რადიუმის მწკრივის ტყვიისა ($^{206}\text{Pb}_{82}$) და აქტინო-ურანის ტყვიის ($^{207}\text{Pb}_{82}$) იზოტოპური შემადგენლობის მიზნით ურანის მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა. ნახშირბადის მეთოდ-

დის შემთხვევაში ცდომილება შეიძლება გამოწვეული იქნეს გამოსაკვლევი ორგანული ნივთიერების სხვა ორგანული ნივთიერებებით გაქუქუქიანებით ან მასთან კონტაქტით, რომლის დროსაც შეიძლება მოხდეს რადიოაქტიური და სტაბილური ნახშირბადების მიმოცვლა და ა. შ. ამიტომ გამოსაკვლევი ნიმუშის ძალიან სუფთად და ზუსტად აღებას და სხვა წესების დაცვას დიდი მნიშვნელობა აქვს. მიუხედავად აღნიშნული და სხვ. ნაკლოვანებებისა, წელთაღმრიცხველ რადიოაქტიურ მეთოდს, როგორც მეტისმეტად გრძნობიერ და შედარებით ზუსტ მეთოდს სხვა მეთოდებთან შედარებით, დიდი უპირატესობა აქვს.

ხელოვნური რადიოაქტიულობა

1. პირველი ატომბირთვული რეაქცია. ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტების შესწავლის საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ რადიოაქტიური მოვლენები ატომბირთვის ბუნებრივი დაშლის შედეგია. ამან მკვლევართა წინაშე დააყენა საკითხი; ხომ არ შეიძლება ხელოვნურად გამოვიწვიოთ ატომბირთვის დაშლა?

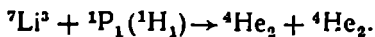
ეს პრობლემა, მრავალი ცდის მიუხედავად, 1919 წლამდე გადაუწყვეტელი იყო. მხოლოდ 1919 წელს რეზერფორდმა პირველად შეძლო ხელოვნურად ატომბირთვული რეაქციის გამოწვევა. მან წაშში 1920^ი კილომეტრი სისწრაფის მქონე პოლონიუმის იზოტოპი $^{214}\text{Po}_{84}$ -დან გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკებით დააყუბმბარა აზოტი ($^{14}\text{N}_7$) და მიიღწა აზოტის ატომბირთვის გარდაქმნას ქანგბადად და წყალბადად. აზოტის ატომბირთვის გარდაქმნა ალფა-ნაწილაკების მოქმედებით შემდეგნაირად მიმდინარეობს:



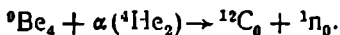
ამ ატომბირთვული რეაქციის მიხედვით, ალფა-ნაწილაკი, რომლის მასა უდრის 4 ერთეულს, მუხტი კი 2 ერთეულს, შეიჭრა აზოტის ატომბირთვში, ამოტყორცნა ერთი პროტონი და თვით დარჩა მასში, რის გამოც აზოტის ატომის მასა გაიზარდა სამი ერთეულით, მუხტი კი — ერთი ერთეულით. ამის შემდეგ რეზერფორდმა და ჩედვიკმა დაამტკიცეს, რომ ასეთივე გარდაქმნას განიცდის ყველა ელემენტი ბორიდან კალიუმამდე, ნახშირბადისა და ქანგბადის გამოკლებით. ზოგი რეაქციამ მიმდინარეობდა ალფა-ნაწილაკების მიჯახებისას ატომბირთვიდან პროტონის ამოტყორცნის შედეგად, ზოგი კი ნეიტრონების ამოტყორცნის შედეგად.

1932 წელს ალფა-ნაწილაკების გარდა ატომბირთვის ბომბარდირებისათვის გამოყენებულ იქნა პროტონი (P). კერძოდ, ლითიუმის

ატომბირთვის პროტონით ბომბარდირების შედეგად მიღებულ იქნა ჰელიუმი შემდეგი რეაქციის თანახმად:



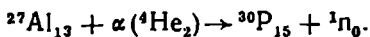
როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, იმავე 1932 წელს ჩედვიკმა ერთ-ერთი მსუბუქი ელემენტის ბერილიუმის ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირებისას მიიღო ახალი უმუხტო ნაწილაკი, რომელსაც ნეიტრონი უწოდეს, შემდეგი რეაქციის თანახმად:



ამ აღმოჩენასთან არის დაკავშირებული ბერთვეული ქიმიის შემდგომი განვითარება, რადგან ნეიტრონი აღმოჩნდა ერთ-ერთი საუკეთესო რეაგენტი ატომბირთვის ბომბარდირებისათვის.

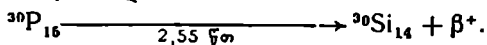
2. ხელოვნური რადიოაქტიური ელემენტების მიღება. ხელოვნური რადიოაქტიური ელემენტები მიიღება სტაბილური (არარადიოაქტიური) ელემენტების ატომბირთვის აღნაგობის შეცვლათ, კერძოდ, დიდი ენერგიის მქონე ალფა-ნაწილაკებით, პროტონებით, ნეიტრონებით, დეიტერონებით და სხვა მსუბუქი ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად.

1934 წელს ფრედერიკ ჟოლიო-კიურიმ და მისმა მეუღლემ ირენ კიურიმ ალუმინის თხელი ფირფიტის ათი წუთის განმავლობაში პოლონიუმის ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად მიიღეს რადიოაქტიური ფოსფორი. დადგინდა, რომ ალუმინის ფირფიტაზე ალფა-ნაწილაკებით მოქმედებისას პირველად ნეიტრონები (${}^1\text{n}_0$) ამოიტყორცნება, ხოლო ბომბარდირების შეწყვეტის შემდეგ ნეიტრონების ამოტყორცნა წყდება. ახლად მიღებული ატომბირთვი თავის მხრივ დამბომბავ ნივთიერების მოცილების შემდეგაც თვითონვე ასხივებს და სათანადო გარდაქმნას განიცდის. ამ მოვლენას ხელოვნური რადიოაქტივობა ეწოდა. მეცნიერებმა გამოარკვეეს, რომ ალუმინის ატომბირთვის გარდაქმნა ალფა-ნაწილაკების მოქმედებით შემდეგნაირად მიმდინარეობს:



როგორც ცნობილია, ბუნებაში მოიპოვება ფოსფორის მხოლოდ ერთი სტაბილური იზოტოპი 15 ატომური ნომრით და 31 მასის რიცხვით (${}^{31}\text{P}_{15}$). აღნიშნული რეაქციის შედეგად ხელოვნურად მიიღება არასტაბილური ფოსფორის იზოტოპი 15 ატომური ნომრით და 30 მასის რიცხვით (${}^{30}\text{P}_{15}$), რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 2,5 წუთს, და რომლის ატომბირთვში ერთი პროტონის ნეიტრონად გარ-

დაქმნას თან ახლავს პოზიტრონის (β^+) ამოტყორცნა, ხოლო თვით ფოსფორის ატომბირთვი კი გარდაიქმნება სილიციუმის ატომბირთვად შემდეგი რეაქციის თანახმად:



ამგვარად, აღმოჩენილ იქნა განსაკუთრებული სახის ხელოვნური რადიოაქტივობა — ატომბირთვის გარდაქმნა პოზიტრონების გამოსხივებით. პოზიტრონი პირველად კოსმოსურ სხივებში აღმოაჩინეს 1932 წელს. პოზიტრონის მასა ელექტრონის მასის ტოლია და მისგან განსხვავდება მხოლოდ იმით, რომ პოზიტრონს დადებითი მუხტი აქვს.

ფრედერიკ და ირენ ჟოლიო-კიურების მიერ იზოტოპების ხელოვნურად მიღება და ხელოვნური რადიოაქტივობის აღმოჩენა იყო და არის უდიდესი მეცნიერული მიღწევა, რომელიც საფუძვლად დაედო არა მარტო ხელოვნური რადიოაქტიური იზოტოპების, არამედ პერიოდულ სისტემაში არსებულ ელემენტებიდან მრავალი ხელოვნური ელემენტის მიღებას და ბირთვული ფიზიკისა და ბირთვული ქიმიის შემდგომ განვითარებას, რომლებმაც საბოლოოდ ატომბირთვული ენერჯის განთავისუფლებამდე მიგვიყვანეს. ხელოვნური რადიოაქტიური იზოტოპების მიღება წარმოებს სხვადასხვა სახის სპეციალურ დანადგარებში აჩქარებული — დიდი ენერჯის მქონე ალფა-ნაწილაკების, პროტონების, ნეიტრონებისა და სხვა ნაწილაკებით ბომბარდირების საშუალებით.

სპეციალური ამაჩქარებელი დანადგარების შექმნის იდეის წარმოშობა განაპირობა იმან, რომ ბუნებრივ რადიოაქტიურ ელემენტებიდან ამოტყორცნილი ალფა-ნაწილაკები სუსტი აღმოჩნდა, როგორც ბომბარდირების საშუალება.

რეზერფორდის ცდებიდან გამომდინარე, გამოირკვა, რომ ერთი მილიონი ალფა-ნაწილაკებიდან დასაბომბარდირებელ ატომბირთვზე მხოლოდ ერთი ალფა-ნაწილაკის დაცემას აქვს ადგილი. გარდა ენერჯისა, ეს მოვლენა გამოწვეულია იმით, რომ ალფა-ნაწილაკები დადებითი მუხტიანია და ბირთვის დადებით მუხტთან მიჯახებამდე დამუხრუჭებას განიცდის, რაც ალფა-ნაწილაკის ატომბირთვის სიღრმეში შეღწევის ალბათობას საგრძნობლად ამცირებს. გამომდინარე აქედან, ფრედერიკ ჟოლიო-კიურისა და ფერმის მიერ დამბომბავ საშუალებად გამოყენებულ იქნა უმუხტო ნაწილაკები — ნეიტრონები, რომლებზედაც ვერც ატომბირთვის ირგვლივ განუწყვეტელ მოძრაობაში მყოფი ელექტრონები ახდენენ დამამუხრუჭებელ გავლენას და ვერც ატომბირთვის დადებითი მუხტი, რადგან ისინი უმუხტონი არიან, რის გამოც

ნეიტრონის ატომბირთვის სიღრმეში შედღწევის ალბათობა ძალიან დი-
ლია.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ბუნებრივ რადიოაქტიურ ელემენტე-
ბიდან მიღებული ნაწილაკების ენერგია საკმარისი არ არის ატომბირ-
თვული რეაქციების ეფექტური მიმდინარეობისათვის, რამაც გამოიწვია
სპეციალური დანადგარების შექმნა, როგორიცაა:

1) ციკლოტრონი. ციკლოტრონის დანიშნულებას წარმოად-
გენს ის, რომ ხელოვნურად მიღებულ იქნას დიდი ენერგიისა და დიდი
რაოდენობის პროტონების, ნეიტრონების, დეიტრონების და ალფა-ნა-
წილაკების ნაკადი;

2) ბეტატრონი, ბეტატრონის დანიშნულებას წარმოადგენს ის,
რომ ხელოვნურად მიღებულ იქნას დიდი ენერგიისა და დიდი რაოდე-
ნობის მსუბუქი ნაწილაკების — ელექტრონებისა და გამა-კვანტების
ნაკადი;

3) სინქოციკლოტრონი. სინქოციკლოტრონი წარმოად-
გენს ციკლოტრონისა და ბეტატრონის კომბინაციას. მისი დანიშნუ-
ლება ისაა, რომ მიღებულ იქნას უფრო მაღალი ენერგიის მქონე ელე-
ქტრონები, ვიდრე ეს შესაძლებელია ბეტატრონში;

4) სინქოფაზოტრონი. სინქოფაზოტრონის დანიშნულებას
წარმოადგენს ის, რომ ხელოვნურად მიიღოს დიდი ენერგიისა და დი-
დი რაოდენობის პროტონების ნაკადი.

აღნიშნული და სხვა ნაწილაკების ამაჩქარებელი დანადგარების
შექმნით მიიღება არა მარტო ახალი იზოტოპები, არამედ რიგი ახალი
ელემენტებიც. ნაწილაკების აჩქარების ტექნიკის განვითარება ხელს
უწყობს აგრეთვე ატომბირთვის შესახებ ჩვენი ცოდნის გაღრმავებას.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამჟამად რადიოაქტიურ იზოტოპთა
უმრავლესობა მიიღება ატომურ რეაქტორში (ატომურ ქვაბში) ბუნე-
ბრივი ელემენტების ნეიტრონებით დაბომბვის საშუალებით, რასაც
ქვემოთ განვიხილავთ.

3. ატომბირთვული რეაქციები. ისეთ რეაქციებს, როდესაც ქიმი-
ური ელემენტების ბირთვებისა და დამუხტული ნაწილაკების — ალფა-
ნაწილაკების, პროტონების (1P_1), დეიტერიუმის (2d_1) და აგრეთვე
ელექტრონეიტრალური ნაწილაკების—ნეიტრონებისა და გამა-კვან-
ტების ურთიერთმოქმედების შედეგად ბირთვის მუხტი და მასის რიც-
ხვი ან ერთ-ერთი მათგანი იცვლება, ატომბირთვული რეაქციები ეწო-
დებათ. ატომბირთვული რეაქციები სწრაფად მიმდინარეობენ. ატომ-
ბირთვული პროცესი იწყება ატომბირთვში დაბომბვა ნაწილაკთა შეჭ-
რით, რომლის დროსაც ახალი, უფრო რთული შემადგენლობის ატომ-

ბირთვი წარმოიქმნება, რომელიც უმდგრადობის გამო ადვილად იშლება. ამ დროს ქარბი ენერგია, რომელიც დამბომბავ ნაწილაკის ბირთვში შეჭრის შედეგად წარმოიქმნა ატომბირთვის გარდაქმნის დროს, ამოტყორცნილ ნაწილაკს გადაეცემა და გამა-კვანტის სახით გამოსხივდება, ბირთვი კი უფრო მდგრად მდგომარეობაში გადადის.

ხშირად ამოტყორცნილი ნაწილაკი, როგორც ქვემოთ ვნახავთ, არ წარმოადგენს ბირთვის ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილაკს და იგი შეიძლება წარმოიქმნას მოცემულ მომენტში ბირთვში მიმდინარე შინაგანი გარდაქმნითი პროცესის შედეგად. ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ ბირთვისა და დამბომბავ ნაწილაკების ყოველგვარი ურთიერთმოქმედება არ იწვევს ბირთვულ რეაქციას. ბირთვისაგან დამბომბავმა ნაწილაკებმა შეიძლება განიცადონ დრეკადი განზნევა. ამ დროს ნაწილაკების ენერგია ბირთვისა და ნაწილაკების კინეტიკურ ენერგიას შორის განაწილდება. ამ შემთხვევაში ბირთვის ბუნება უცვლელი რჩება და იგი განიცდის მხოლოდ დამბომბავ ნაწილაკების განზნევის მიმართულების უკუმიმართულებით ენერგიის ნაწილობრივ გაცემას.

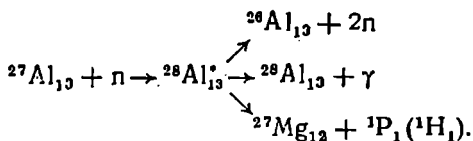
როგორც აღვნიშნეთ, ბირთვული რეაქციის შედეგად ახალი ბირთვი და მეორადი ნაწილაკები ან გამა-კვანტები წარმოიქმნება. მეორადი ნაწილაკების ბუნება და მათი ენერგიის სიდიდე ძირითადად დამბომბავ ნაწილაკების ენერგიის სიდიდეზეა დამოკიდებული. მაგრამ თუ პირველადი ნაწილაკების ენერგია ძალიან დიდია, მაშინ მეორადი ნაწილაკების ბუნება უმნიშვნელოდ არის დამოკიდებული პირველადი ნაწილაკების ენერგიაზე. მეორადი ნაწილაკების განაწილების კუთხე პირველადი ნაწილაკებისა და ბირთვის ნუკლეონების ურთიერთმოქმედებით არის განპირობებული.

ბირთვული რეაქციის ძირითადი დამახასიათებელი სიდიდეებია: რეაქციის ზღურბლი და რეაქციის ეფექტური განივკვეთი, ანუ კვეთი. ბირთვული რეაქცია დაიწყება მაშინ, როდესაც სამიზნეს ბირთვში დამბომბავი ნაწილაკი შეიჭრება. ამ დროს ბირთვის ნუკლეონებისა და ბირთვში შეჭრილ დამბომბავ ნაწილაკებს შორის ატომბირთვული მიზიდულობის ძალები იწყებს მოქმედებას, რაც იწვევს ბირთვული რეაქციის მიმდინარეობას. ბირთვში შეჭრისათვის დამბომბავმა ნაწილაკებმა ბირთვის კულონის არე (ელექტროსტატიკური განზიდვის არე), ე. წ. პოტენციალური ბარიერი უნდა გადალახონ, რომელიც დადებით მუხტიან ნაწილაკებს განიზიდავს. ამიტომ დამბომბავ ნაწილაკების ენერგია ბირთვის კულონის არეს ენერგიაზე მეტი უნდა იყოს. ამრიგად, რეაქციის ზღურბლის ქვეშ იჯულისხმება დამბომბავ ნაწილაკის ენერგიის ის მინიმუმი, რომლის ქვემოთ მოცემული ბირთვული რეაქ-

ცია არ შეიძლება წარიმართოს. დამუხტული ნაწილაკებისათვის რეაქციის ზღურბლი რამდენიმე მილიონ ელექტრონვოლტს უდრის. დამბომბავ ნაწილაკებად ნეიტრონების გამოყენებისას ნეიტრონზე ბირთვის კულონის არე არ მოქმედებს, რადგან ნეიტრონი ელექტრონეიტრალურია. ამიტომ ძალიან მცირე ენერჯიის — თბური მდგომარეობის ენერჯიის ეკვივალენტური ენერჯიის მქონე ნეიტრონებითაც, ე. წ. თბური ნეიტრონებით, რომელთა ენერჯია 0,01-დან 1 ელექტრონვოლტამდეა, შეიძლება გამოწვეულ იქნას ბირთვული რეაქცია.

მაგრამ ეს იმას არ ნიშნავს, რომ ატომბირთვული რეაქცია წარმართება, თუ ჩვენ ნეიტრონის მაგივრად დამბომბავ ნაწილაკად გამოვიყენებთ ალფა-ნაწილაკს. რადგან ასეთი დიდი და მუხტიანი ნაწილაკისათვის, როგორცაა ალფა-ნაწილაკი, მეტისმეტად ძნელია გადალახოს ატომბირთვული კულონის განზიდვის ძალა (პოტენციალური ბარიერი), ისე როგორც უმუხტო ნაწილაკმა-ნეიტრონმა. ამრიგად, პოტენციალური ბარიერის გადალახვისათვის საჭირო ენერჯია სხვადასხვაა სხვადასხვა სახის ნაწილაკებისათვის.

იმ ენერჯიას, რომელიც უნდა ჰქონდეს დამბომბავ ნაწილაკს, რათა გადალახოს პოტენციალური ბარიერი და შეიჭრას ატომის ბირთვში, ეწოდება ატომბირთვული რეაქციის აქტივაციის ენერჯია. როგორც ცდებმა გვიჩვენებს ერთი და იგივე ატომბირთვის მოცემული ერთი სახის ნაწილაკით დაბომბვისას ბირთვული რეაქცია შეიძლება რამდენიმე სხვადასხვა მიმართულებით წარიმართოს:



დამბომბავი ნაწილაკის ენერჯიის იმ რაოდენობას, რომლის დროსაც ამ სამი შესაძლებელი რეაქციიდან მხოლოდ ერთი ტიპის ბირთვული რეაქციას წარმართავს, როგორც აღვნიშნეთ, ეწოდება რეაქციის ზღურბლი ენერჯია; მისი სიდიდის განმსაზღვრელია აქტივაციის ენერჯია და მიღებული პროდუქტების მასა.

ამა თუ იმ ბირთვული პროცესის მიმდინარეობის ალბათობა განპირობებულია ეფექტური განივკვეთით (6-ით). ეფექტური განივკვეთის (6) მნიშვნელობა უმრავლეს შემთხვევაში კარგად ემთხვევა ბირთვის განივკვეთას, ე. ი. დაახლოებით უდრის 10^{-24} სმ². თუ ნაწილაკების ნაკადმა სამიზნეში მოხვედრისა და გავლისას ინტენსიობა პრაქტიკულად არ შეიცვალა, მაშინ ასეთი ატომბირთვული პროცესისათვის განივკვეთი გაიანგარიშება შემდეგი განტოლების მიხედვით:

$$N = \ln_0 \sigma x, \quad (1-41)$$

სადაც N არის მოცემული ბირთვული რეაქციის ტიპის მიხედვით გარდასაქმნელ სამიზნეში ატომბირთვთა რიცხვი;

l — სამიზნეზე მოსახვედრი დაშლამბავი ნაწილაკების რიცხვი;

n_0 — 1 სმ³ მოცულობის სამიზნეში ატომბირთვების რიცხვი;

σ — ეფექტური განიკვეთი:

x — სამიზნეს სისქე სმ-ით.

$$\text{საიდანაც } \sigma = \frac{N}{\ln_0 x}. \quad (1-42)$$

მაშასადამე, მოცემული რეაქციის ეფექტური განიკვეთი ეწოდება ბირთვული რეაქციის მიმდინარეობის ფართობის განზომილებას ერთ ატომბირთვზე. განიკვეთის, ან კვეთის ერთეულად მიღებულია 10^{-24} სმ², რომელსაც ეწოდება ბარნ. ბარნის ათასჯერ ნაკლებ სიდიდეს 10^{-27} სმ² ეწოდება მილიბარნ. განიკვეთის სიდიდე დამოკიდებულია ნაწილაკის ენერგიასა და მის ბუნებაზე.

ზოგჯერ ატომბირთვული პროცესებისათვის მაკროსკოპიული განიკვეთის მნიშვნელობით სარგებლობენ, რომელიც უდრის 1 სმ³ მოცულობის სამიზნეში ატომბირთვებისა და ეფექტური განიკვეთის ჯამურ ნამრავლს, ე. ი. $\sum n_0 \sigma$, რაც გამოსახავს გრამ-ატომის ფართობის განზომილებას — განიკვეთს. პრაქტიკაში ერთი სახის ნაწილაკებით ბომბარდირებული, მოცემული ატომბირთვის ყველა სახის ატომბირთვული რეაქციის ჯამურ განიკვეთს საზღვრავენ და მით სარგებლობენ ბომბარდირების დროს.

ატომბირთვისა და დამბომბავი ნაწილაკების ურთიერთმოქმედება ძირითადად დამოკიდებულია დამბომბავ ნაწილაკების ბუნებაზე, მაგრამ, ამის მიუხედავად, ყველა სახის ატომბირთვული ურთიერთმოქმედება შეიძლება ორ ჯგუფად დავყოთ: ნაწილაკების დრეკადი გაბნევა და არა დრეკადი ურთიერთმოქმედება.

პირველ შემთხვევაში ურთიერთ შეჯახებული დამბომბავი ნაწილაკები და ატომბირთვები მხოლოდ კინეტიკურ ენერგიას მიმოიცვლიან, სისტემის პოტენციალური ენერგია რჩება უცვლელი, ახალი ატომბირთვი არ წარმოიქმნება. მეორე შემთხვევაში — არადრეკადი ურთიერთმოქმედებისას შეჯახებული ატომბირთვების როგორც ბირთვის შემადგენლობა, ისე ორივესი ან ერთ-ერთის აღნაგობაც იცვლება, ე. ი. ბირთვულ გარდაქმნასთან გვაქვს საქმე.

ბირთვული გარდაქმნის ყველა პროცესი ორ საფეხურად მიმდინარეობს.

პირველი საფეხური. დამბოძავი ნაწილაკი შეიქრება რა ატომბირთვში, ნუკლონებთან რამდენიმეჯერ დაჯახების შემდეგ, თავისი კინეტიკური ენერგიის მეტ ნაწილს კარგავს და რამდენიმე ხნით რჩება ატომბირთვში. წარმოიქმნება ე. წ. აგზნებული ატომბირთვი, რომელიც ატომბირთვის გარდაქმნის შუალედურ საფეხურს წარმოადგენს 10^{-12} — 10^{-14} წამის რიგის ხანგრძლივობით.

მეორე საფეხური. მეორე საფეხურში მიმდინარეობს ატომბირთვის დაშლა და ატომბირთვული რეაქციის პროდუქტების წარმოქმნა. ეს პროცესი წარიმართება ნუკლონების მრავალჯერ ურთიერთ დაჯახებისა და შემთხვევით რომელიმე ერთ-ერთ ნუკლონში ქარბი ენერგიის იმ რაოდენობით დაგროვების შედეგად, რომელიც საკმარისი იქნება ატომბირთვული მიზიდულობის ძალების გადალახვისათვის, რის შედეგად აგზნებული ატომბირთვი გადადის ძირითად მდგომარეობაში. ამ თეორიის თავისებურება ის არის, რომ ზემოთ განხილული რეაქციის პირველი და მეორე საფეხური ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მიმდინარეობს. გარდა ამისა, ახალი ატომბირთვის შემადგენლობა შეიძლება სხვადასხვა გზით წარმოიქმნას და დაიშალოს სხვადასხვა საბოლოო პროდუქტების წარმოქმნით. ეს თეორია შედარებით სრულყოფილია, თუმცა მაინც ვერ იძლევა პასუხს რიგ საკითხებზე, განსაკუთრებით მსუბუქ ატომბირთვებში მიმდინარე ატომბირთვული რეაქციების რიგ თავისებურებებზე და ა. შ.

აღსანიშნავია, რომ ბირთვული რეაქციების (ბირთვული გარდაქმნების) მიმდინარეობისას, ჩვეულებრივი ქიმიური რეაქციების მსგავსად, ყოველთვის ადგილი აქვს სითბოს (ენერგიის) გამოყოფას ან შთანთქმას. იმ ბირთვულ რეაქციებს, რომლებიც სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობენ, ჩვეულებრივი ქიმიური რეაქციების ანალოგიურად ეგზოთერმული ეწოდება; ხოლო იმ ბირთვულ რეაქციებს, რომელთა მიმდინარეობის დროსაც სითბო შთაინთქება — ენდოთერმული. მაგალითად, $A + B \rightarrow C + D \pm \Delta E$ ბირთვული რეაქციის დროს გამოყოფილი ენერგია ΔE გამოსახავს ატომბირთვული რეაქციის ერთი აქტის, ანუ ერთი ატომბირთვის მიერ შთანთქმულ ან გამოყოფილ ენერგიას. ΔE სიმბოლოს წინ სიმბოლო (+) ნიშნით აღინიშნება გამოყოფილი ენერგია, მინუსით (—) კი — შთანთქმული.

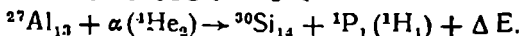
შთანთქმული ან გამოყოფილი ენერგიის ($\pm \Delta E$) რაოდენობის განსაზღვრა ადვილია, თუ ცნობილია მორეაგირე ატომბირთვების (ან ატომბირთვის) მასები (მასა), რაც ჩვენ უკვე გავაკეთეთ ატომბირთვების მდგრადობის განსაზღვრის დროს. მის ანალოგიურად გავიანგარიშებთ გამოსაყალი ატომბირთვებისა და დამბოძავ ნაწილაკების მ-

სებს და, თუ მათი ჭამი მეტია ბირთვული რეაქციის შედეგად მიღებული პროდუქტებისა და მეორადი ნაწილაკების მასათა ჯამზე, ადგილი აქვს ენერგიის გამოყოფას, ე. ი. რეაქცია ეგზოთერმულია და ΔE დადებითია. ხოლო თუ წარმოქმნილი პროდუქტების მასა აღემატება აღებულისას, მაშინ ΔE (ენერგია) უარყოფითია და რეაქცია — ენდოთერმული. ბირთვული რეაქციის დროს გამოყოფილი ენერგია ΔE შეიძლება გავიანგარიშოთ (1—43) ფორმულის თანახმად:

$$\Delta E = \Delta m C^2, \quad (1-43)$$

სადაც Δm არის $m_A + m_B$ და $m_C + m_D$ მასათა ჯანის სხვაობა, (1—43) ფორმულიდან კი C ცნობილია.

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი:

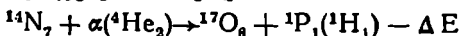


ამ რეაქციის დროს გამოყოფილი ენერგია იქნება:

$$\Delta E = [26,98154 + 4,00260 - (29,97376 + 1,00783)] \cdot 931 = +2,37 \text{ მ ე ვ.}$$

ΔE — ენერგია დადებითაა, მაშასადამე, ბირთვული რეაქცია ეგზოთერმულია.

განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი:



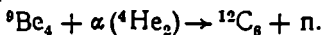
ამ რეაქციის დროს შთანთქმული ენერგია იქნება:

$$\Delta E = [14,00307 + 4,00260 - (16,99913 + 1,00783)] \cdot 931 = -1,2 \text{ მ ე ვ.}$$

ΔE ენერგია უარყოფითია, მაშასადამე, ბირთვული რეაქცია ენდოთერმულია. ატომბირთვული რეაქციების ენერგია ბევრად აღემატება ჩვეულებრივი ქიმიური რეაქციების დროს შთანთქმულ ან გამოყოფილ ენერგიას. მაგალითად, აზოტის ენერგიად გარდაქმნის ბირთვული რეაქციის დროს, როგორც გაანგარიშებამ გვიჩვენა, შთანთქმება 1,2 მ ე ვ, ანუ $\sim 2,76 \cdot 10^7$ კკალ/გ-ატომი ენერგია, რაც $\sim 10^8$ -ჯერ აღემატება ყველაზე მაღალი ენერგიის მომთხოვნ, ჩვეულებრივ ქიმიური რეაქციის დროს შთანთქმულ ენერგიას. ასევეა ენერგიის გამოყოფის დროსაც.

4. მნიშვნელოვანი ბირთვული რეაქციები. მიუხედავად იმისა, რომ პირველი ატომბირთვული რეაქცია განხორციელდა ალფა-ნაწილაკებით და პროტონებით ატომბირთვების ბომბარდირების შედეგად, ისინი მაინც არ ითვლებიან ეფექტურ წყაროებად ბირთვული რეაქციების განხორციელებისათვის, რადგან ბირთვის დადებით მუხტთან დადებით მუხტიანი ნაწილაკების მიჯახებამდე დამუხრუჭებას განიცდიან, რაც ატომბირთვის სიღრმეში მათი შეღწევის ალბათობას ამცირებს და დიდი აქტივაციის ენერგიას მოითხოვს. ამიტომ ატომბირთვების ბომბარდირებისათვის ხელსაყრელ ყუშბარას წარმოადგენს ელექტრონიტრა-

ლური ნეიტრონები. რადგან ნეიტრონი უმუხტოა, ატომბირთვთან მისი ურთიერთმოქმედებისას აქტივაციის ენერგია პრაქტიკულად ნულის ტოლია. ტექნიკაში ნეიტრონებს ღებულობენ ბირთვულ რეაქტორებში, სხვადასხვა სახის ამჩქარებლების საშუალებით წარმართული ზოგიერთი ბირთვული რეაქციის შედეგად და სხვ. ლაბორატორიებში კი ბერილიუმზე რადიუმიდან ან პლუტონიუმიდან ან კიდევ პოლონიუმიდან გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების მიშენით, შემდეგი ბირთვული რეაქციის თანახმად:



ენერგიის მიხედვით ნეიტრონები შეიძლება სამ ჯგუფად დავყოთ: თბური ნეიტრონები, რომელთა ენერგია $E_n \cong 4 \cdot 10^{-21}$ ჯოულს ($0,025$ ელექტრონვოლტს), წელი ნეიტრონები, რომელთათვის $E_n \cong 1,6 \cdot 10^{-16}$ ჯოულს (1 კილოელექტრონვოლტს) და ჩქარი ნეიტრონები, რომელთა ენერგია $E_n \cong 8 \cdot 10^{-14}$ ჯოულს (> 500 კილოელექტრონვოლტზე).

წელი ნეიტრონებისათვის ეფექტური განიკვეთი უფრო მოხერხებულია. გავიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma \cong \frac{1}{v n},$$

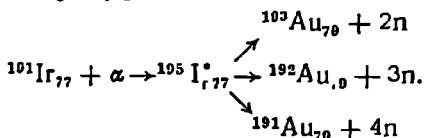
სადაც $v n$ არის ნეიტრონის სიჩქარე.

ზოგჯერ ატომბირთვის მიერ გარკვეული ენერგიის მქონე ნეიტრონების მიტაცებისას ადგილი აქვს ეფექტური განიკვეთის გადიდებას, რაც გამოწვეულია იმით, რომ ზოგიერთ ნეიტრონს ატომბირთვში შეაქვს ენერგია, ზუსტად იმ რაოდენობით, რაც საკმარისია ბირთვის შემადგენლობის ერთ-ერთ მის დისკრეტულ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში გადასაყვანად. ენერგიის გარკვეულ შუალედებში ეფექტური განიკვეთი შეიძლება გადიდდეს რამდენიმე ათას ბარნამდე. ამ დროს ბირთვული რეაქციის პროდუქტი მკვეთრად იზრდება. მაგალითად, გადოლინიუმის ბუნებრივი ნარევის ატომბირთვის მიერ თბური ნეიტრონების მიტაცებისას ეფექტური განიკვეთი $\sigma \cong 3,1 \cdot 10^4$ ბარნს, კადმიუმის შემთხვევაში $\sigma \cong 2,9 \cdot 10^3$ ბარნს და ა. შ... აქვე იმასაც აღვნიშნავთ, რომ თბური ნეიტრონების მიტაცებისას ზოგჯერ სტაბილური იზოტოპები წარმოიქმნება, განსაკუთრებით კადმიუმისა და ბორის შემთხვევაში. ატომბირთვული რეაქციები და მათი ტიპების რიცხვი მრავალია და დღითიდღე იზრდება. აქ განვიხილავთ მხოლოდ ზოგიერთ მათგანს.

I. ატომბირთვული რეაქციები ალფა-ნაწილაკების მოქმედებით. ამჟამად ალფა-ნაწილაკები არ გამოიყენება ხელოვნური რადიაქტიური იზოტოპების მისაღებად, მაგრამ ალფა-

ნაწილაკებისა და ატომბირთვის ურთიერთმოქმედების პროცესს დიდი შეცნიერული მნიშვნელობა აქვს.

ბუნებრივი რადიოელემენტებიდან ამოტყორცნილ ალფა-ნაწილაკებს ატომბირთვული კულონის ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალა შეუძლიათ გადალახონ იმ ელემენტებისათვის, რომელთა ატომური ნომერი არ აღემატება 20-ს ($Z=20$ -მდე). უფრო მეტი ატომბირთვული მუხტის მქონე ატომბირთვების დაბომბვისათვის საჭიროა ალფა-ნაწილაკების სიჩქარე გავზარდოთ სპეციალური ამჩქარებლებით. ჩქარი ალფა-ნაწილაკებით შეიძლება გამოვიწვიოთ ატომბირთვების სხვადასხვა სახის გარდაქმნა:

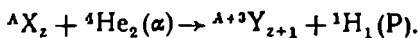


მოცემულ შემთხვევაში ირიდიუმიდან მივიღეთ ოქრო, რომელზეც ძველთაგანვე ოცნებობდნენ ალქიმიკოსები. ალქიმიკოსების ფილოსოფიური ქვა დღეს სინამდვილედ იქცა და მას ამჩქარებული ალფა-ნაწილაკები წარმოადგენს. გარდა ამისა, α -ნაწილაკების საშუალებით მიღებულია ურანის შემდეგ განლაგებული ელემენტები. ყველა ტრანსურანიდი რადიოაქტიურია.

(α , P) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნება:

- 1) $^{10}\text{B}_5 + ^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow ^{13}\text{C}_6 + ^1\text{H}_1(\text{P})$ ანუ $^{10}\text{B}_5(\alpha, \text{P})^{13}\text{C}_6$; სტაბილურია
- 2) $^{27}\text{Al}_{13} + ^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow ^{30}\text{Si}_{14} + ^1\text{H}_1(\text{P})$ ანუ $^{27}\text{Al}_{13}(\alpha, \text{P})^{30}\text{Si}_{14}$; სტაბილურია
- 3) $^{32}\text{S}_{16} + ^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow ^{35}\text{Cl}_{17} + ^1\text{H}_1(\text{P})$ ანუ $^{32}\text{S}_{16}(\alpha, \text{P})^{35}\text{Cl}_{17}$; სტაბილურია

ამ (α , P) ტიპის ატომბირთვულ რეაქციებში შუალედი პროდუქტები ($^{14}\text{N}_7$, $^{31}\text{P}_{15}$, $^{36}\text{Ar}_{18}$) ნაჩვენებია არ არის, რომლებიც უმდგრადობის გამო ადვილად იშლებიან. როგორც მოცემული მაგალითების განხილვიდან და ქვემოთ განხილულ მაგალითებიდან ვნახავთ, ყველა ატომბირთვულ რეაქციას თავისი აღნიშვნა აქვს; რეაქცია (α , P) გვიჩვენებს, რომ ალფა-ნაწილაკის ატომბირთვში შეჭრისას მიმდინარეობს ატომბირთვის გარდაქმნა, რომლის შედეგად პროტონი (P) გამოისხივდება, მაშასადამე, ატომბირთვული რეაქციის პირველი ნიშანი, მოცემულ შემთხვევაში ალფა-ნაწილაკი, გვიჩვენებს ატომბირთვის დაბომბვას ნაწილაკს, ხოლო მეორე პროტონი (P)—ამოტყორცნილ ნაწილაკს. (α , P) ტიპის რეაქციის დროს, როგორც განხილული მაგალითიდან ჩანს, წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი სამი ერთეულით იმატებს, ხოლო ატომური ნომერი—ერთით. რაც სქემატურად შემდეგი ზოგადი ფორმულით გამოისახება:

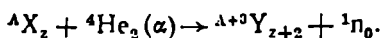


(α, n) ტიპის რეაქციებს ეკუთვნის:

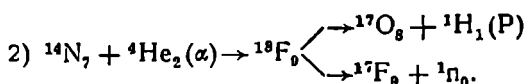
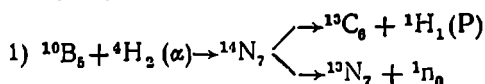
- 1) ${}^9\text{Be}_4 + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^{12}\text{C}_6 + {}^1\text{n}_0$ ანუ ${}^9\text{Be}_4(\alpha, n){}^{12}\text{C}_6$; სტაბილურია
- 2) ${}^{27}\text{Al}_{13} + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^{30}\text{P}_{15} + {}^1\text{n}_0$ ანუ ${}^{27}\text{Al}_{13}(\alpha, n){}^{30}\text{P}_{15}$; $T = 2,55$ წთ β^+ ;
- 3) ${}^{31}\text{P}_{15} + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^{34}\text{Cl}_{17} + {}^1\text{n}_0$ ანუ ${}^{31}\text{P}_{15}(\alpha, n){}^{34}\text{Cl}_{17}$; $T = 33,2$ წთ β^+, γ .

(α, n) ტიპის რეაქციის დროს ალფა-ნაწილაკის ატომბირთვში შეკრისას მიმდინარეობს ატომბირთვის გარდაქმნა, რომლის შედეგად ნეიტრონი (n) გამოისხივდება. ხშირ შემთხვევაში ატომბირთვი ნეიტრონის ამოტყორცნის შემდეგაც კი აგზნებულ მდგომარეობაში რჩება. ამიტომ ასეთი გარდაქმნისას ადგილი აქვს ქარბი ენერგიის გამოისხივებას გაზა-კვანტების სახით.

(α, n) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი სამი ერთეულით იმატებს, ხოლო ატომური ნომერი კი—ორი ერთეულით, რაც სქემატურად შემდეგი ზოგადი ფორმულით გამოისახება:

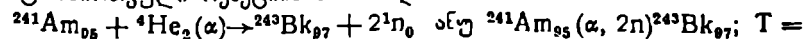


საჭიროა აღინიშნოს, რომ შუალედი ატომბირთვების დაშლა ზოგჯერ სხვადასხვა გზით წარიმართება. მაგალითად, ${}^{10}\text{B}_5(\alpha, \text{P}){}^{13}\text{C}_6$ რეაქციის გარდა (α, n) გარდაქმნაც მიიღება, ხოლო ${}^{14}\text{N}_7(\alpha, \text{P}){}^{17}\text{O}_8$ ტეპტონის გარდა (α, n) გარდაქმნაც მიიღება. ასე, მაგალითად,

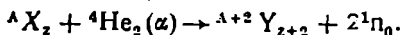


რეაქციის ორგვარად მიმდინარეობის ალბათობა ახლოა ერთმანეთთან და დამოკიდებულია ალფა-ნაწილაკების ენერგიაზე.

საკმაოდ ჩქარი ალფა-ნაწილაკებისათვის ცნობილია ($\alpha, 2n$) ტიპის რეაქციები. მაგალითად, 1947 წელს ბისმუტის (${}^{209}\text{Bi}_{83}$) 32 მილიონ ელექტრონვოლტი ენერგიის მქონე ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად მიღებულ იქნა ასტატინი (${}^{211}\text{At}_{85}$) შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად: ${}^{209}\text{Bi}_{83} + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^{211}\text{At}_{85} + 2{}^1\text{n}_0$ ანუ ${}^{209}\text{Bi}_{83}(\alpha, 2n){}^{211}\text{At}_{85}$; $T = 7,5$ სთ α, k , ხოლო ამავე ტიპის რეაქციის თანახმად 1949 წელს ამერიციუმის (${}^{241}\text{Am}_{95}$) ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად მიღებულ იქნა ბერკლიუმი [(${}^{243}\text{Bk}_{97}$) შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:



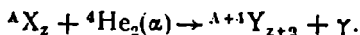
= 4,6 სთ k, γ. (α, 2n) ტიპის ატომბირთვული რეაქცია კი შემდეგი ზოგადი ფორმულით გამოისახება:



(α, γ) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნებიან:

- 1) ${}^3\text{H}_1 + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^7\text{Li}_3 + \gamma$ ანუ ${}^3\text{H}_1(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}_3$; სტაბილურია,
- 2) ${}^3\text{He}_2 + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^7\text{Be}_4 + \gamma$ ანუ ${}^3\text{He}_2(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}_4$; T = 53 დღე k, γ,
- 3) ${}^{14}\text{C}_6 + {}^4\text{He}_2(\alpha) \rightarrow {}^{18}\text{O}_8 + \gamma$ ანუ ${}^{14}\text{C}_6(\alpha, \gamma){}^{18}\text{O}_8$; სტაბილურია.

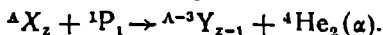
(α, γ) ტიპის ატომბირთვული რეაქციის დროს სამიზნოს ბირთვში შეჭრილი ალფა-ნაწილაკები სწრაფად ურთიერთმოქმედებენ ბირთვის შემადგენელ ნაწილაკებთან, რასაც თან სდევს ამ ნაწილაკებს შორის ენერგიის გადანაწილება, ხოლო აბლად წარმოქმნილი ატომბირთვი ქარბ ენერგიას γ-კვანტის სახით გამოასხივებს. ამ ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ოთხი ერთეულით იმატებს, ხოლო ატომური ნომერი კი — ორი ერთეულით, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



II. ატომბირთვული რეაქციები პროტონების მოქმედებით (P, α) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნებიან:

- 1) ${}^6\text{Li}_3 + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^3\text{He}_2 + {}^4\text{He}_2(\alpha)$ ანუ $\text{Li}_3(\text{P}, \alpha){}^3\text{He}_2$; სტაბილურია,
- 2) ${}^{27}\text{Al}_{13} + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^{24}\text{Mg}_{12} + {}^4\text{He}_2(\alpha)$ ანუ $\text{Al}_{13}(\text{P}, \alpha){}^{24}\text{Mg}_{12}$; სტაბილურია.

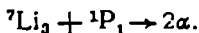
(P, α) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი სამი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი — ერთით, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



(P, n) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნებიან:

- 1) ${}^9\text{Be}_4 + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^9\text{Be}_4 + {}^1n_0$ ანუ ${}^9\text{Be}_4(\text{P}, n){}^9\text{Be}_4$; სტაბილურია,
- 2) ${}^{44}\text{Ca}_{20} + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^{44}\text{Sc}_{21} + {}^1n_0$ ანუ ${}^{44}\text{Ca}_{20}(\text{P}, n){}^{44}\text{Sc}_{21}$; T = 3,92 სთ β⁺, γ.
- 3) ${}^{48}\text{Ti}_{22} + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^{48}\text{V}_{23} + {}^1n_0$ ანუ ${}^{48}\text{Ti}_{22}(\text{P}, n){}^{48}\text{V}_{23}$; T = 16 დღე β⁺k, γ.
- 4) ${}^7\text{Li}_3 + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^7\text{Be}_4 + {}^1n_0$ ანუ ${}^7\text{Li}_3(\text{P}, n){}^7\text{Be}_4$; T = 53,6 დღე k, γ.

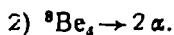
თუ დამბომბავი პროტონის ენერგია ~ 13 მეგ ტოლია, მაშინ მე-4 რეაქცია, ე. ი. ლითიუმ-7-ის ბერილიუმ-7-ად ${}^7\text{Li}_3(\text{P}, n){}^7\text{Be}_4$ -ად გარდაქმნის ნაცვლად წარიმართება ეგზოთერმული ბირთვული რეაქცია:



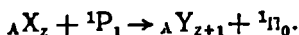
ეს ბირთვული რეაქცია ორ საფეხურად მიმდინარეობს:

- 1) ${}^7\text{Li}_3 + {}^1\text{P}_1 \rightarrow {}^8\text{Be}_4 + \gamma$ ანუ ${}^7\text{Li}_3(\text{P}, n){}^8\text{Be}_4$; T = 10⁻¹⁶ წმ 2 α.

შემდეგ კი ბერილიუმის აგზნებული ატომბირთვი იშლება შემდეგი რეაქციის თანახმად:

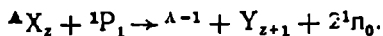


ხოლო თუ დამბომბავი პროტონების ენერგია 19 მილიონი ელექტრონ-ვოლტი და მეტია, მაშინ ჰარბობს (P, 2n) ტიპის რეაქცია, ხოლო 27 — 30 მილიონ ელექტრონვოლტი ენერგიის დროს (P, 3n) ტიპის რეაქცია ჰარბობს. (P, n) ტიპის რეაქციის დამახასიათებელია პოზიტრონული აქტივობა, რომელსაც ხშირად თან ახლავს ალფა-გამოსხივება. წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი უცვლელი რჩება, ხოლო ატომური ნომერი ერთი ერთეულით იმატებს, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:

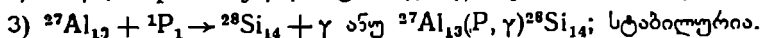
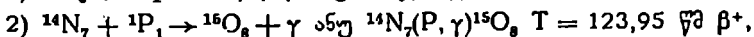
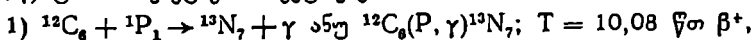


(P, 2n) ტიპის რეაქციის მაგალითს წარმოადგენს:

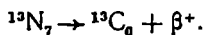
${}^{167}\text{Gd}_{64} + {}_1^1P_1 \rightarrow {}^{166}\text{Tb}_{65} + 2{}_0^1n_0$ ანუ ${}^{167}\text{Gd}_{64}(\text{P}, 2n){}^{166}\text{Tb}_{65}; T = 5,35$ დღე β^+k , რომელიც მიმდინარეობს დიდი ენერგიის მქონე პროტონების მოქმედებით. (P, 2n) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ერთი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი კი ერთი ერთეულით იმატებს, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



(P, γ) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნებიან:

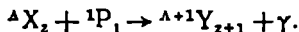


(P, γ) ტიპის რეაქციის დროს ატომბირთვში პროტონის (P) შეკრისას მიმდინარეობს ატომბირთვის გარდაქმნა, რის შედეგად γ -კვანტი გამოსხივდება და ატომბირთვი გადადის სტაბილურ მდგომარეობაში (რეაქცია 3). ამავე ტიპის რეაქციის დროს ზოგჯერ რადიოაქტიური ატომბირთვი მიიღება (მაგ., რეაქცია 1). მოცემულ შემთხვევაში არასტაბილური იზოტოპი ${}^{13}\text{N}_7$ -ის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 10,08 წუთს, რომელიც პოზიტრონის β^+ -გამოსხივების შედეგად გარდაიქმნება ${}^{13}\text{C}_6$ სტაბილურ იზოტოპად შემდეგი სქემის მიხედვით:



პოზიტრონების გამოსხივების შედეგად ${}^{15}\text{O}_8$ და ${}^{20}\text{P}_{15}$ იზოტოპებიც გარდაიქმნებიან ${}^{15}\text{N}_7$ და ${}^{20}\text{Si}_{14}$ სტაბილურ იზოტოპებად. როგორც განხილული მაგალითებიდან ჩანს, (P, γ) ტიპის ბირთვული რეაქციების დროს

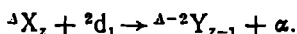
წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი და ატომური ნომერი თითო ერთეულით იმატებს, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



III. ატომბირთვული რეაქციები დეიტერონების მოქმედებით (d, α) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნებიან:

- 1) ${}^{24} Mg_{12} + {}^2 d_1 \rightarrow {}^{22} Na_{11} + \alpha$ ანუ ${}^{24} Mg_{12}(d, \alpha) {}^{22} Na_{11}$; $T = 2,6$ წელი, β, γ .
- 2) ${}^{37} Cl_{17} + {}^2 d_1 \rightarrow {}^{35} S_{16} + \alpha$ ანუ ${}^{37} Cl_{17}(d, \alpha) {}^{35} S_{16}$; $T = 87,1$ დღე β^- ,
- 3) ${}^{56} Fe_{26} + {}^2 d_1 \rightarrow {}^{54} Mn_{25} + \alpha$ ანუ ${}^{56} Fe_{26}(d, \alpha) {}^{54} Mn_{25}$ $T = 310$ დღე β^- , γ .

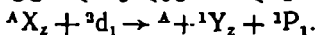
(d, α) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ორი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი — ერთით, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



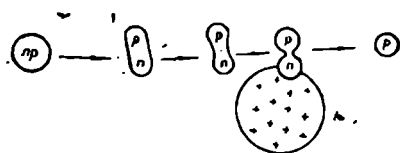
(d, p) ტიპის რეაქციებიდან განსილული იქნება შემდეგი:

- 1) ${}^{23} Na_{11} + {}^2 d_1 \rightarrow {}^{24} Na_{11} + {}^1 P_1$ ანუ ${}^{23} Na_{11}(d, p) {}^{24} Na_{11}$; $T = 15$ სთ β^-, γ ,
- 2) ${}^{31} P_{15} + {}^2 d_1 \rightarrow {}^{32} P_{15} + {}^1 P_1$ ანუ ${}^{31} P_{15}(d, p) {}^{32} P_{16}$; $T = 14,3$ დღე β^- ,
- 3) ${}^{34} S_{16} + {}^2 d_1 \rightarrow {}^{35} S_{16} + {}^1 P_1$ ანუ ${}^{34} S_{16}(d, p) {}^{35} S_{16}$; $T = 87,1$ დღე β^- .

(d, p) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ერთი ერთეულით იმატებს, ხოლო ატომური ნომერი კი უცვლელ რჩება, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



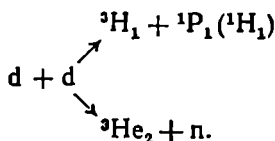
(d, p) ტიპის რეაქციები განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევენ, რადგან ისინი მიმდინარეობენ მაშინაც კი, როდესაც დეიტერონის ენერგია იმდენად მცირეა, რომ არ არის საკმარისი პოტენციალური ბარიერის გადასალახავადაც კი. ამ კანონზომიერების ახსნა მოგვცა ოპერჰეიმერი და ფილიპმა. მათი განმარტების თანახმად, როდესაც ნელი დეიტერონი მიუახლოვდება ატომბირთვს, მაშინ კულონის განზიდვის ძალით დეიტერონის ბირთვის შემცველი პროტონი განიზიდე-



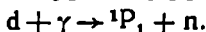
ნახ. 18. ოპერჰეიმერ-ფილიპის პროცესი.

ბირთვიდან, ე. ი. დეიტერონი პოლიარიზირდება ატომბირთვის ველში და საბოლოოდ გაიხლიჩება პროტონად და ნეიტრონად. ნეიტრონი ყოველგვარი წინააღმდეგობის გარეშე შეიჭრება ატომ-

დიდ ინტერესს იწვევს აგრეთვე (d, d) ეგზოთერმული პროცესი, რომელიც შიმდინარეობს, როცა $Ed = 0,1$ მევ, შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის მიხედვით:



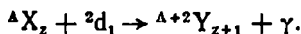
ამ რეაქციის ქვედა განშტოება გამოიყენება ნეიტრონების ნაკადის მისაღებად სხვადასხვა სახის ამჩქარებელში. ამავე მიზნისათვის გამოიყენება აგრეთვე შემდეგი ბირთვული რეაქცია:



(d, γ) ტიპის რეაქციებიდან, რომელთა განიკვეთი მეტად მცირეა, განხილული იქნება შემდეგი:

- 1) $^{138}\text{Ba}_{56} + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{140}\text{La}_{57} + \gamma$ ანუ $^{138}\text{Ba}_{56}(\text{d}, \gamma)\text{}^{140}\text{La}_{57}$; $T = 40,2$ სთბ⁻, γ ;
- 2) $^{12}\text{C}_6 + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{14}\text{N}_7 + \gamma$ ანუ $^{12}\text{C}_6(\text{d}, \gamma)\text{}^{14}\text{N}_7$; სტაბილურია.

(d, γ) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ორი ერთეულით იმატებს, ხოლო ატომური ნომერი კი ერთი ერთეულით იმატებს, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოიხატება:

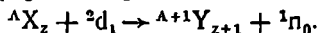


(d, n) ტიპის რეაქციებიდან განხილულია შემდეგი:

- 1) ${}^6\text{Li}_3 + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^7\text{Be}_4 + \text{}^1\text{n}_0$ ანუ ${}^6\text{Li}_3(\text{d}, \text{n})\text{}^7\text{Be}_4$; $T = 53$ დღე K, γ ,
- 2) $^{12}\text{C}_6 + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{13}\text{N}_7 + \text{}^1\text{n}_0$ ანუ $^{12}\text{C}_6(\text{d}, \text{n})\text{}^{13}\text{N}_7$; $T = 10,08$ წთ β^+ ,
- 3) $^{130}\text{Te}_{52} + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{131}\text{J}_{57} + \text{}^1\text{n}_0$ ანუ $^{130}\text{Te}_{52}(\text{d}, \text{n})\text{}^{131}\text{J}_{53}$; $T = 8$ დღე β^- , γ .

აღსანიშნავია, რომ სამიზნოს დამბოძებავ ნაწილაკებად დეიტერიუმის გამოყენებისას გამოსავალი მეტია, ვიდრე ეკვივალენტური ენერგიის პროტონებით და ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების დროს.

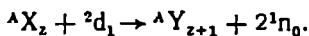
(d, n) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი და ატომური ნომერი თითო ერთეულით იმატებს, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



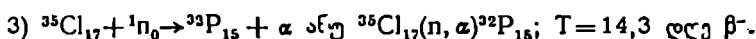
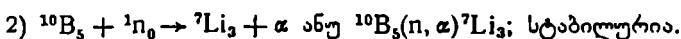
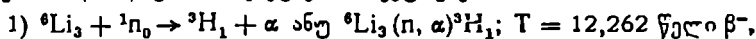
(d, 2n) ტიპის რეაქციებიდან განხილული იქნება შემდეგი:

- 1) $^{18}\text{O}_8 + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{18}\text{F}_9 + 2\text{}^1\text{n}_0$ ანუ $^{18}\text{O}_8(\text{d}, 2\text{n})\text{}^{18}\text{F}_9$; $T = 112$ წთ β^+ ,
- 2) $^{55}\text{Mn}_{25} + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{56}\text{Fe}_{26} + 2\text{}^1\text{n}_0$ ანუ $^{55}\text{Mn}_{25}(\text{d}, 2\text{n})\text{}^{56}\text{Fe}_{26}$; $T = 2,9$ წ. k, γ ,
- 3) $^{65}\text{Cu}_{29} + \text{}^2\text{d}_1 \rightarrow \text{}^{65}\text{Zn}_{30} + 2\text{}^1\text{n}_0$ ანუ $^{65}\text{Cu}_{29}(\text{d}, 2\text{n})\text{}^{65}\text{Zn}_{30}$; $T = 243,5$ დღე β^+ , γ .

(d, 2n) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი უცვლელი რჩება, ხოლო ატომური ნომერი კი ერთი ერთეულით იმატებს, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:

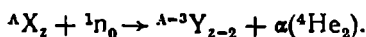


IV. ატომბირთვული რეაქციები ნეიტრონების მოქმედებით (n, α) ტიპის რეაქციებს მიეკუთვნებიან:

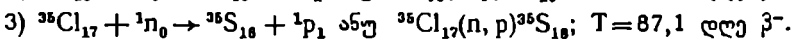
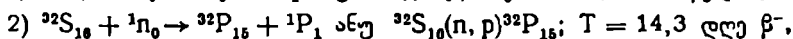
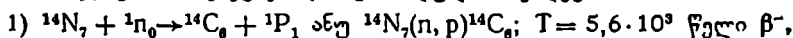


აღუა-ნაწილაკების ამოტყორცნით მიმდინარე ბირთვული რეაქციები, როგორც წესი, ენდოთერმულია.

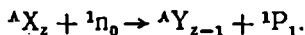
ზოგიერთი ზემოთ განხილული რეაქცია, განსაკუთრებით (n, α) ტიპის რეაქციის ${}^6 \text{Li}_3(n, \alpha){}^3 \text{H}_1$ წარმოებისათვის, ე. ი. ტრითიუმის მისაღებად უფრო ხშირად ატომურ რეაქტორს იყენებენ. (n, α) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი სამი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი —ორით, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



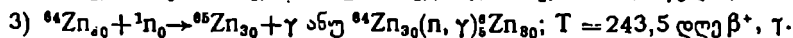
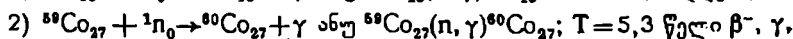
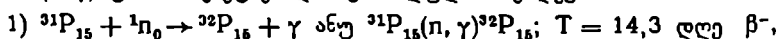
(n, p) ტიპის რეაქციებიდან განხილულია შემდეგი:



აქედან ${}^{14} \text{N}_7(n, p){}^{14} \text{C}_6$ და ${}^{35} \text{Cl}_{17}(n, p){}^{35} \text{S}_{16}$ ბირთვული რეაქციები ეგზოთერმულია, ხოლო ${}^{32} \text{S}_{16}(n, p){}^{32} \text{P}_{15}$ ენდოთერმული. (n, p) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი უცვლელი რჩება, ხოლო ატომური ნომერი კი ერთი ერთეულით მცირდება, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:

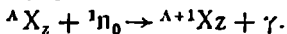


(n, γ) ტიპის რეაქციებიდან განხილულია შემდეგი:



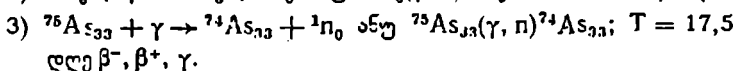
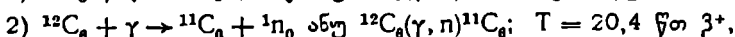
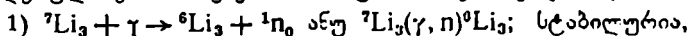
როგორც განხილული მაგალითებიდან ჩანს, (n, γ) ტიპის რეაქციების დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ერთი ერთეულით

ლით იმატებს, ხოლო ატომური ნომერი უცვლელი რჩება, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:

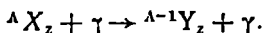


აღსანიშნავია, რომ ნეიტრონებით (n) დაბომბვის შედეგად მიღებული იზოტოპები ჩვეულებრივად ბეტა-გამომსხივებელი და ბეტა-გამა-გამომსხივებელი არიან.

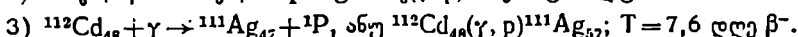
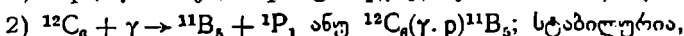
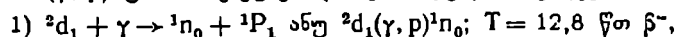
V. ფოტობირთვული რეაქციები. ამჩქარებელი დანადგარების შექმნამდე ფოტობირთვული რეაქციის რიცხვი შეზღუდული იყო. ამჟამად ამჩქარებელი დანადგარების დახმარებით მიიღება ძალიან მაღალი ენერჯის მქონე კვანტები (h ν), რომელთა დახმარებითაც შესაძლებელი გახდა ფოტობირთვული რეაქციების როგორც ტიპის, ისე რიცხვის გაზრდა. ამ მეთოდის უპირატესობა, სხვა მეთოდებთან შედარებით, ის არის, რომ ნეიტრონების ნაკლებობით შეიძლება მიღებულ იქნას ზოგიერთი იზოტოპი. ასე, მაგალითად:



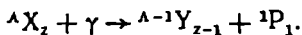
(γ, n) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ერთი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი უცვლელი რჩება, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



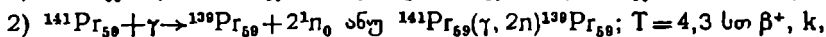
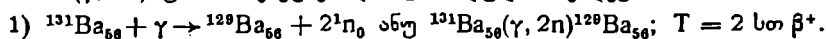
(γ, p) ტიპის რეაქციებიდან განხილულია შემდეგი:



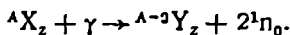
(γ, p) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი და ატომური ნომერი თითო ერთეულით მცირდება, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



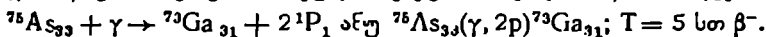
($\gamma, 2n$) ტიპის რეაქციებიდან განხილულია შემდეგი:



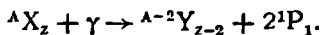
($\gamma, 2n$) ტიპის რეაქციის დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ორი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი უცვლელი რჩება, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



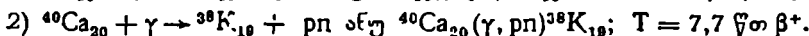
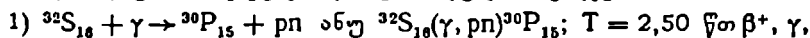
(γ , 2P) ტიპის ფოტობირთვული რეაქციის მაგალითს წარმოადგენს:



ატომბირთვის (γ , 2P) გარდაქმნის რეაქციის პროდუქტის მიხედვით, რეაქციის მიმდინარეობა შემდეგნაირად გამოისახება:



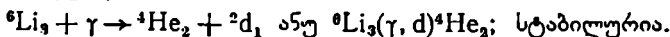
(γ , Pn) ტიპის რეაქციებიდან განხილულია შემდეგი:



(γ , d) ტიპის ფოტობირთვული რეაქციის მაგალითს წარმოადგენს:

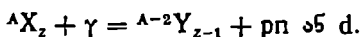


ეს ბირთვული რეაქცია მიმდინარეობს მაშინ, თუ დეიტერიუმის ენერგია $Ed > 2$ მევ-ზე.

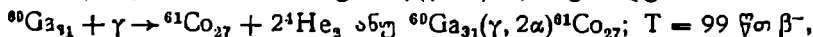
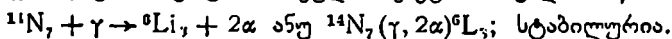


ამ რეაქციის მიხედვით ლითიუმის იზოტოპი ${}^6 \text{Li}_3$ შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ალფა-ნაწილაკი, რომელთანაც დაკავშირებულია დეიტერიუმი.

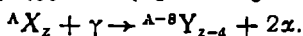
(γ , Pn) და (γ , d) ტიპის რეაქციები სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



(γ , 2 α) ტიპის ფოტობირთვული რეაქციის მაგალითს წარმოადგენს:

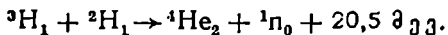
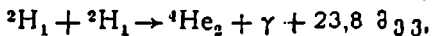
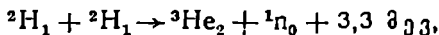
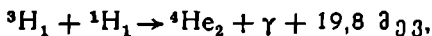
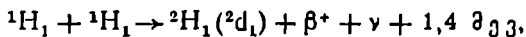


(γ , 2 α) ტიპის რეაქციების დროს წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი რვა ერთეულით მეირღება, ხოლო ატომური ნომერი—ოთხით, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:

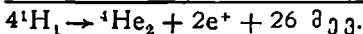
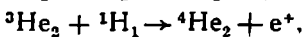
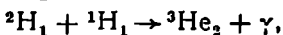
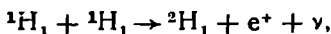


5. თერმობირთვული რეაქციები. თერმობირთვული რეაქციების მშვიდობიანი მიზნებისათვის გამოყენება თანამედროვე რადიოფიზიკისა და რადიოქიმიის ერთ-ერთი გადაუდებელი ამოცანაა. პრაქტიკულად ენერჯის დაუშრეტელ წყაროს წარმოადგენენ ატომბირთვული რეაქციები, რომლებიც მეტისშეტად მაღალი ტემპერატურის პირობებში მიმდინარეობენ. ამგვარ რეაქციებს თერმობირთვული რეაქციები ეწოდებათ.

ასეთ რეაქციებს ეკუთვნის წყალბადების, დეიტერიუმებისა და ტრიტიუმის შეერთებით უფრო მძიმე ატომების მიღება, რომლებიც ყოველთვის დაკავშირებული არიან მოსვენებითი მასის შემცირებასთან და, ამრიგად, ისინი ეგზოენერგეტიკულ რეაქციებს წარმოადგენენ.

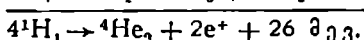
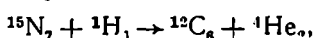
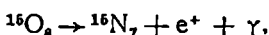
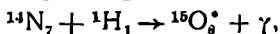
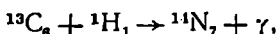
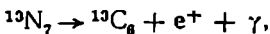
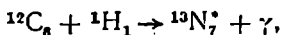


ასეთი რეაქციების დაწყებისათვის აუცილებელია — 10^6 — 10^7C° ტემპერატურა. როგორც დადგინდა, ანალოგიური თერმობირთვული რეაქციები მიმდინარეობენ მზეზე და ცხელ ვარსკვლავებზე. უდაოდ, მთელი სითბო, რომელსაც მზისაგან ღებულობს დედამიწა, თერმობირთვული რეაქციის შედეგია. მზეზე უნდა მიმდინარეობდეს შემდეგი თერმობირთვული რეაქციები:



ასეთ რეაქციებს ეწოდებათ პრიტონ-პროტონული რეაქციები, ანუ ჰელიუმის ციკლის რეაქციები. მზეზე არსებულ პირობებში განხილული პროცესის „სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა“ უდრის 10^9 — 10^{10} წელს.

შესაძლებელია აგრეთვე ნახშირბად-აზოტის ციკლის მიმდინარეობა მზეზე:



ნახშირბად-ატომის ციკლის „სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა“ უდრის 10^6 წელს.

როგორც განხილული ციკლიდან ჩანს, ნახშირბადი უცვლელად რჩება; ამ პროცესში ნახშირბადი კატალიზატორის როლს ასრულებს.

განხილული პროცესის მიმდინარეობას წრიული ხასიათი უნდა ჰქონდეს. უკანასკნელი პროცესის დროს აღდგენილი $^{12}\text{C}_6$ კვლავ შედის თერმობირთვულ რეაქციაში $^{12}\text{C}_6 + ^1\text{H}_1 \rightarrow ^{13}\text{N}_7 + \gamma$ და ა. შ. თითო ციკლის დასრულება მილიონ წელიწადს მოითხოვს. ზემოაღნიშნული თერმობირთვული რეაქციების შედეგად მზე უხვად ასხივებს ენერგიას.

მართული თერმობირთვული რეაქციების განხორციელების მიმართულებით ჩვენში დიდი მუშაობა წარმოებს, რითაც კიდევ უფრო გადიდება ბირთვული ენერგიის დაუშვრეტელი წყარო.

ზემოგანხილული ბირთვული რეაქციები, როგორცაა:

1) (α , p), (α , n), (α , 2n), (α , γ), გამოწვეული ალფა-ნაწილაკებისა და ატომბირთვის ურთიერთმოქმედებით,

2) (p, α), (p, n), (p, 2n), (p, γ), გამოწვეული პროტონებისა და ატომბირთვის ურთიერთმოქმედებით,

3) (d, α), (d, p), (d, n), (d, 2n), გამოწვეული დეიტერონებისა და ატომბირთვის ურთიერთმოქმედებით,

4) (n, α), (n, p), (n, γ), გამოწვეული ნეიტრონებისა და ატომბირთვის ურთიერთმოქმედებით,

5) (γ , n), (γ , p), (γ , 2n), (γ , 2p), (γ , pn), (γ , d)—საკმაოდ ტიპური მაგრამ არა ერთადერთი არიან. ცნობილია, რომ ძალიან დიდი ენერგიის მქონე ნაწილაკებით დაბომბვისას ბირთვი რამდენიმე წვრილ ნაწილად იშლება, ზოგჯერ კი ნეიტრონებამდე და პროტონებამდეც. მეტად მნიშვნელოვანია ატომბირთვის ჯაჭვური დაშლა, რომელსაც ქვემოთ განვიხილავთ და სხვა.

ერთი და იგივე რადიოაქტიური იზოტოპი შეიძლება წარმოიქმნას სხვადასხვა ბირთვული რეაქციების თანახმად. მაგალითად, ზემოგანხილული ბირთვული რეაქციების თანახმად, რადიოაქტიური იზოტოპი $^{32}\text{P}_{15}$ მიღებულია შემდეგი რეაქციების მიხედვით:

$^{32}\text{S}_{16}(\text{n}, \text{p})^{32}\text{P}_{15}$, $^{34}\text{S}_{16}(\text{d}, \alpha)^{32}\text{P}_{15}$, $^{31}\text{P}_{15}(\text{n}, \gamma)^{32}\text{P}_{15}$,

$^{31}\text{P}_{15}(\text{d}, \text{p})^{32}\text{P}_{15}$, $^{35}\text{Cl}_{17}(\text{n}, \alpha)^{32}\text{P}_{15}$ და სხვ... ასევე $^{35}\text{S}_{16}$ მიღებულია

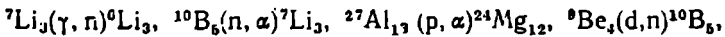
სხვადასხვა ბირთვული რეაქციების თანახმად

$^{35}\text{Cl}_{17}(\text{n}, \text{p})^{35}\text{S}_{16}$, $^{37}\text{Cl}_{17}(\text{d}, \alpha)^{35}\text{S}_{16}$, $^{34}\text{S}_{16}(\text{d}, \text{p})^{35}\text{S}_{16}$, $^{34}\text{S}_{16}(\text{n}, \gamma)^{35}\text{S}_{16}$ და ა. შ.

ამრიგად, ხელოვნური რადიოაქტიური იზოტოპების მიღების მრავალი ხერხი არსებობს. ჩატარებული გამოკვლევები იძლევიან საფუძველს გამონახულ იქნას რადიოაქტიური იზოტოპების მიღების უფრო ეფექტური ხერხი. ჯერჯერობით ატომბირთვული რეაქციების ღრმად შეს

წავლის საფუძველზე გამოირკვა, რომ ატომბირთვის დაბომბვისათვის ყველაზე ეფექტურია ნეიტრონის გამოყენება, რადგან, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ნეიტრონი ელექტრონეიტრალურია და უფრო ადვილად შეაღწევს ატომბირთვში, ვიდრე დამუხტული ნაწილაკები, რაც იწვევს ახალი ატომბირთვის წარმოქმნას.

დღეისათვის 300-მდე მდგრადი და 900-ზე მეტი რადიაქტიური იზოტოპია მიღებული, რომელთა რიცხვი დღითიდღე იზრდება. მდგრადი და არამდგრადი ხელოვნური იზოტოპების ასეთი დიდი რიცხვის მიღებამ და მათმა ღრმა ანალიზმა ნათელყო ის, რომ ატომბირთვში დამბომბავ ნაწილაკების შეჭრისას, დროის გარკვეულ მონაკვეთში, ბირთვის ერთ ან რამდენიმე ნაწილაკზე დიდი ენერგია გროვდება და თუ ამ ქარბ ენერგიას იგი ატომბირთვული რეაქციის მიმდინარეობისთანავე გამოტყორცნილ ნაწილაკთან ერთად ან გამა-კვანტის სახით გამოასხივებს, და თუ ატომბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვი გარკვეულ შეფარდების ტოლია, იგი მდგრადია. ამ პირობებში ატომბირთვული რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება იგივე ან მის მეზობლად მდებარე ელემენტის მდგრადი იზოტოპი. ზემოგანხილული მაგალითებიდან ასეთებს წარმოადგენენ:



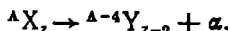
წინააღმდეგ შემთხვევაში, თუ ატომბირთვული რეაქციის შედეგად მიღებულ ატომბირთვში პროტონების ან ნეიტრონების რიცხვი გარკვეულ შეფარდების ტოლი არ არის, იგი არამდგრადია, ე. ი. მიიღება რადიაქტიური იზოტოპი, და შემდგომი ბირთვული გარდაქმნების შედეგად სტაბილიზირდება.

6. ატომბირთვული გარდაქმნები. რადიაქტიური მწკრივების და ცალკეული ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტების განხილვის დროს მითითებული იყო ალფა- და ბეტა-გამოსხივებით გამოწვეულ ატომბირთვულ გარდაქმნებზე. სისტემატიზაციისა და ზოგიერთი ატომბირთვული მოვლენის ახსნისათვის მიზანშეწონილად მიგვაჩნია განვიხილოთ კონკრეტული ატომბირთვული გარდაქმნის მაგალითები.

I. ატომბირთვის გარდაქმნა ალფა-გამოსხივებით. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ატომბირთვის გარდაქმნა ჯერ კიდევ რადიაქტიური ელემენტების აღმოჩენის დროს იყო შემჩნეული—რადიუმის რადონად გარდაქმნის მაგალითზე. შემდეგ გამოირკვა, რომ ალფა-გარდაქმნას განიცდის სხვა ელემენტებიც, განსაკუთრებით კი მძიმე ელემენტები. ალფა-გარდაქმნას მიეკუთვნებიან შემდეგი ატომბირთვული რეაქციები:

- 1) $^{141}\text{Nd}_{80} \rightarrow ^{140}\text{Ce}_{58} + \alpha$; $T = 2,2 \cdot 10^{16}$ წელს, $E = 1,9$ მეე,
- 2) $^{147}\text{Sm}_{62} \rightarrow ^{143}\text{Nd}_{60} + \alpha$; $T = 6,7 \cdot 10^{11}$ წელს, $E = 2,18$ მეე,
- 3) $^{209}\text{Bi}_{83} \rightarrow ^{205}\text{Tl}_{81} + \alpha$; $T = 2 \cdot 10^{17}$ წელს, $E = 3,15$ მეე,
- 4) $^{208}\text{Po}_{84} \rightarrow ^{204}\text{Pb}_{82} + \alpha$; $T = 2,93$ წელს, $E = 5,11$ მეე.

როგორც ზემოთ რადიოაქტიური მწკრივების განხილვის დროს აღვნიშნეთ და როგორც განხილული მაგალითებიდან ჩანს, ალფა-გარდაქმნისას წარმოქმნილი ელემენტის მასის რიცხვი ოთხი ერთეულით მცირდება, ხოლო ატომური ნომერი ორით. ალფა-გამოსხივებით გამოწვეული ატომბირთვის გარდაქმნის ეს კანონი სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



მაშასადამე, ალფა-გარდაქმნის დროს ახლად წარმოქმნილი ელემენტი მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში ორი უჯრედით გადაინაცვლებს მარჯვნიდან მარცხნივ.

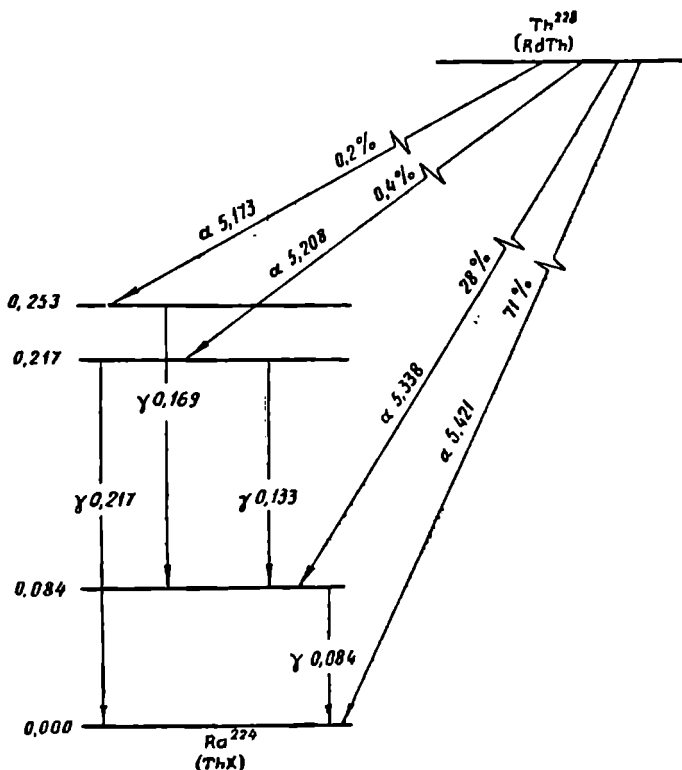
საკვირია აღინიშნოს, რომ ყველა ზემოგანხილული და ამჟამად ცნობილი ბუნებრივი რადიოაქტიური იზოტოპის ატომბირთვიდან არ გამოიყოფილება არც პროტონი და არც ნეიტრონი. ამავე დროს რადიოაქტიური მწკრივები და მათი წევრები ძირითადად ალფა-გამომსხივებელი არიან, რომელსაც ხშირად თან ახლავს გამა-გამოსხივება, რომელიც; როგორც წესი, რეაქციის განტოლებაში არ იწერება. მაგრამ ალფა-გარდაქმნის ატომბირთვული რეაქციების ენერგეტიკულ ბალანსში გამა-კვანტის ენერჯიაც უნდა იქნეს მიღებული მხედველობაში, რათა დატული იქნეს ენერჯიის მარადისობის კანონი. ატომბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული ბალანსი შემდეგნაირად გამოისახება:

$$E_{\text{ალფა}} = E_{\alpha} + E_{\gamma} + E_{\text{გამა}}.$$

სადაც E განაც. ალფა-გამომსხივებელი ატომბირთვის განაცემი კინეტიკური ენერჯიაა. უმეტესი ატომბირთვებისათვის E განაც. $< 0,1$ მეე. გამა-კვანტის დანაკვირვები ენერჯია, როგორც წესი, უდრის შესაბამის ორი ჯგუფის ალფა-ნაწილაკების დაშლის ენერჯიათა სხვაობას. ყველა გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკისა და გამა-კვანტების ენერჯიის გაზომვის მონაცემებით შეიძლება ავაგოთ მოცემული ატომბირთვების გარდაქმნის ენერჯიის დონის დიაგრამა. თომიურ-228 ერთ-ერთი ასეთი დაშლის დიაგრამა მოცემულია ნახაზ 19-ზე.

საკვირია აღინიშნოს, რომ ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებიდან გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკის ენერჯია ყველაზე დიდია პოლონიუმ-212-ის იზომერის შემთხვევაში. იგი უდრის $11,7$ მეე-ს. უმრავლესი ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებიდან გამოსხივებული ალ-

ფა-ნაწილაკების ენერგია 8—4 მე ვ-ს შორის მდებარეობს, ხოლო ატომბირთვის ნაწილაკებს შორის არსებული ბმის ენერგია ჩვეულებ-

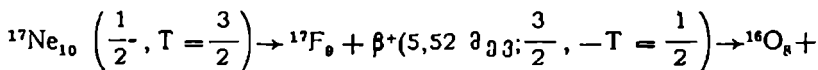


ნახ. 19. თორიუმ-228 ატომბირთვის რადიუმ-224-ად ალფა-გარდაქმნის ენერგეტიკული დონის სქემა. ენერჯიის ყველა მნიშვნელობა ნაჩვენებია მე ვ-ში, ალფა-ნაწილაკებისათვის მოცემულია კინეტიკური და არა სავითო ენერჯია.

რივად ყოველთვის მეტია, ვიდრე გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკისა. მაგალითად, ურან-238-ის ნუკლონებს შორის ბმის ენერჯია $\cong 9$ მე ვ-ს, ხოლო გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების ენერჯია კი უდრის 4,5 მე ვ-ს. მაშინ როდესაც ატომბირთვის დაშლის დროს გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების ენერჯია ტოლი ან მეტი უნდა იყოს ნუკლონების ბმის ენერჯიაზე, ე. ი. $E_{\alpha} \geq E_b$. ამის ახსნა შესაძლებელი გახდა მხოლოდ კვანტური მექანიკის საშუალებით, რომლიდანაც გამომდი-

ნარე, ატომბირთვის აქვს კელადი ენერგია თითოეულ ნუკლონზე, ატომბირთვის სითბის სიმკვრივის ფლუქტაციის წყალობით. აქედან გამომდინარე, ავზნებულ ატომბირთვში რომელიმე მომენტში შესაძლებელია ორ ნეიტრონზე და ორ პროტონზე მოხდეს ავზნების ენერგიის უმეტესი ნაწილის კონცენტრირება, რომელიც საკმარისი აღმოჩნდება ოთხი ნუკლონის დაჭრუფებულად ატომბირთვიდან ამოტყორცნიანათვის ალფა-ნაწილაკის სახით. ასეთი წარმოდგენა მართებულია მხოლოდ მრავალნუკლონიანი მჭიმე ატომბირთვებისათვის. მსუბუქ ატომბირთვებში ასეთი მოვლენა არ არის მოსალოდნელი, რასაც ადასტურებს ისიც, რომ ალფა-გამომსხივებელი მსუბუქი ატომბირთვები ცნობილი არაა.

თეორიულად დასაშვებია აგრეთვე ალფა-გამოსხივების მსგავსად ბუნებრივ რადიოელემენტებს ახასიათებდეთ პროტონული დაშლა, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი 10^{-12} წამის რიგისა უნდა იყოს. ამის შესახებ ჭერჭერობით არ მოგვეპოვება სარწმუნო ექსპერიმენტული მონაცემები, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ ვ. ი. გოლდანსკის დაკვირვებას, რომელმაც 1960 წელს შეძლო შემდეგი სახის პროტონულ დაშლაზე დაკვირვება: $^{19}\text{Na}_{11} \rightarrow ^{18}\text{Ne}_{10} + \text{P} + 0,3 \text{ მევ}$, და გ. ფ. ბოგდანოვის დაკვირვებას ორ პროტონის გამომსხივებელი ბერილიუმ-9 დაშლის პროცესზე ასე $^9\text{Be}_4 \rightarrow ^4\text{He}_2 + 2\text{p}$, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც თანმიმდევრული, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ორი პროტონის ამოტყორცნის პროცესი $^9\text{Be}_4 \rightarrow \text{P} + ^5\text{Li}_3 \rightarrow \text{P} + \alpha(^4\text{He}_2)$ და სხვა ალბათური ატომბირთვის დაშლის რეაქციები. ცხადია, აქ მხედველობაში არ ვღებულობთ პროტონების დაგვიანებით გამოსხივებას, რომლის მიქდინარეობა განხილულისაგან განსხვავებულია. ასე, მაგალითად.



P და სხვა. ამის შემდეგ ვუბრუნდებით რა ალფა-გარდაქმნის პროცესს, აღსანიშნავია, რომ ალფა-გამომსხივებელ რადიოაქტიურ ელემენტებს ახასიათებთ დიდად განსხვავებული ნახევრად დაშლის პერიოდი და ალფა-ნაწილაკის ენერგიაც დიდად განსხვავებული აქვთ. ამის ანალიზის საფუძველზე ჯ. რ. კიდევ 1906 წელს რეზეფორდმა აღნიშნა, რომ ნახევრად დაშლის პერიოდის შემცირებასთან (დაშლის მუდმივ λ გაზრდასთან) ერთად გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების ენერგიაც იზრდება. აქედან გამომდინარე და ჰაერში ალფა-ნაწილაკების შეღწევალობის ანალიზის საფუძველზე გ ე ი გ რ მ ა და ნ ე ტ ო ლ მ ა მოგვეცა წესი, რომლის თანახმად ჰაერში ალფა-ნაწილაკების გარბენა და დაშლის სიჩ-

ქარის λ -მუდმივას შორის არსებობს კანონზომიერი დამოკიდებულება. ამ ორი სიდიდის კანონზომიერი კავშირი მათ გამოხატეს შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$\log \lambda = a + b \log r, \quad (1-44)$$

სადაც b მუდმივაა, ხოლო a — ბუნებრივი რადიაქტიური მწკრივებისათვის ლებულობს სხვადასხვა მნიშვნელობას. r არის ალფა-ნაწილაკის განარბენი მანძილი ნივთიერებაში.

ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტებისათვის გეიგერ-ნეტონის წესით მიღებული შედეგები კარგად ემთხვევა ცდის მონაცემებს.

II. ატომბირთვის გარდაქმნა ბეტა-გამოსხივებით და K -შითაცება. ბეტა-გამომსხივებელი ელემენტები განიცდიან როგორც ელექტრონულ β^- , ისე პოზიტრონულ β^+ გარდაქმნას. ამჟამად ცნობილი ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტების უმრავლესობა ბეტა-აქტიურია. ატომური ბომბის აფეთქებისას გამოყოფილი ძირითადი ელემენტებიც ბეტა-აქტიურია. ელექტრონულ β^- გარდაქმნას მიეკუთვნებიან რეაქციები:

- 1) ${}^3\text{H}_1 \rightarrow {}^3\text{He}_2 + \beta^-$; $T = 12,262$ წელი, $E = 0,018$ მევ,
- 2) ${}^{14}\text{C}_6 \rightarrow {}^{14}\text{N}_7 + \beta^-$; $T = 5,6 \cdot 10^3$ წელი, $E = 0,155$ მევ,
- 3) ${}^{32}\text{P}_{15} \rightarrow {}^{32}\text{S}_{16} + \beta^-$; $T = 14,3$ დღე, $E = 1,7$ მევ,
- 4) ${}^{35}\text{S}_{16} \rightarrow {}^{35}\text{Cl}_{17} + \beta^-$; $T = 87,1$ დღე, $E = 0,167$ მევ,
- 5) ${}^{45}\text{Ca}_{20} \rightarrow {}^{45}\text{Sc}_{21} + \beta^-$; $T = 163,5$ დღე, $E = 0,258$ მევ.

როგორც ზემოგანხილული, ისე ამჟამად ცნობილ ბეტა-გამომსხივებელი იზოტოპების შესწავლით გამოირკვა, რომ ერთი და იგივე რადიაქტიური ნივთიერების ცალკეული ატომებიდან ამოტყორცნილი ბეტა-ნაწილაკების ენერგია სულ სხვადასხვა მნიშვნელობისაა, იცვლება 0-დან E_{max} მაქსიმალურ ენერჯიამდე და უწყვეტ სპექტრს იძლევა, რაც დამახასიათებელია თითოეული რადიაქტიური იზოტოპისათვის. მაგალითად, ${}^{89}\text{Sr}_{38}$ იზოტოპისათვის ბეტა-ნაწილაკის მაქსიმალური ენერგია E_{max} არ აღემატება 1,5 მილიონ ელექტრონვოლტს (მევ), საშუალო კი 0,57 მევ, ${}^{60}\text{Co}_{27}$ იზოტოპისათვის კი 0,3 მევ, საშუალო ენერგია ტოლია 0,098 მევ და ა. შ. ატომური ბომბის აფეთქებისას წარმოშობილი ძირითადი იზოტოპების მიერ გამოსხივებული ბეტა-ნაწილაკების მაქსიმალური ენერგია არ აღემატება 3 მილიონ ელექტრონვოლტს. საერთოდ კი, ბეტა-ნაწილაკის მაქსიმალურმა ენერჯიამ შეიძლება მიაღწიოს 15 მევ.

დაშლის სიჩქარის λ -მუდმივასა და ბეტა-ნაწილაკის მაქსიმალურ ენერჯიას (E_{max}) შორის შექმნილი დამოკიდებულება არსებობს:

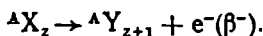
$$\lambda = KE_m^{\beta},$$

(1-45)

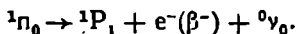
სადაც K მუდმივაა. ეს დამოკიდებულება მარტებულა, თუ E_m არ აღემატება 0,5 მევს.

ენერჯიის შენახვის კანონიდან გამომდინარე, ბეტა-ნაწილაკების წარმოქმნის მიუხედავად, მათი ენერჯია ერთნაირი უნდა ყოფილიყო. ბეტა-ნაწილაკების ეს თავისებურება ახსნილ იქნა მხოლოდ მას შემდეგ, რაც გამოითქვა აზრი იმის თაობაზე, რომ ბეტა-ნაწილაკთან ერთად ატომბირთვიდან ამოიტყორცნება კიდევ ერთი ნაწილაკი, რომელსაც ნეიტრინო უწოდეს და აღინიშნება ν სიმბოლოთი. ბეტა-ნაწილაკისა და ნეიტრინოს (ν) ენერჯიათა ჯამი უდრის E_m . ნეიტრინოს არსებობა არაპირდაპირი მეთოდით დაამტკიცეს ალენმა, ლეიპუნსკიმ და ალიხანოვმა.

ზემომოცემული ატომბირთვის აღნაგობიდან გამომდინარე, ატომბირთვი არ შეიცავს მსუბუქ ნაწილაკებს, როგორცაა ელექტრონები და პოზიტრონები, მაგრამ განხილული ატომბირთვების ბეტა-ელექტრონული გარდაქმნის მაგალითებიდან ჩანს, რომ ბეტა-აქტიური ატომბირთვებიდან ბეტა-ელექტრონულ გამოსხივებას აქვს ადგილი. ასე, მაგალითად, ფოსფორის იზოტოპი $^{32}\text{P}_{15}$ -ის ატომბირთვმა გამოასხივა რ: ელექტრონი $e^{-}(\beta^{-})$, გარდაიქმნა სტაბილურ გოგირდად $^{32}\text{S}_{16}$. ფოსფორის ატომბირთვი 15 პროტონს და 17 ნეიტრონს შეიცავს, ხოლო ბეტა-ელექტრონის გამოსხივების შედეგად წარმოქმნილი გოგირდის ატომბირთვი 16 პროტონს და 16 ნეიტრონს, ე. ი. ფოსფორის ატომბირთვთან შედარებით გოგირდის ატომბირთვში ნეიტრონები! რიცხვი ერთით ნაკლებია, სამაგიეროდ პროტონების რიცხვი ერთი მეტია, მასის რიცხვი კი პრაქტიკულად უცვლელია. მასასადამე, ნაწილაკების რიცხვი ატომბირთვში არ იცვლება, სამაგიეროდ ატომური ნომერი ერთი ერთეულით იმატებს, ე. ი. ერთ-ერთი ნეიტრონი გარდაიქმნა პროტონად, რითაც ნეიტრონების რიცხვი გარკვეულ შეფარდება! შეეთანადა. სხვანაირად რომ ვთქვათ, წარმოშობილი პროტონი რჩება ატომბირთვში და ერთი ერთეულით აღიდებს მის დადებით მუხტს, ხოლო ელექტრონი და ნეიტრინო გამოსხივდება. ეს კი აპირობებს ელექტრონულ ბეტა-გამოსხივებას, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



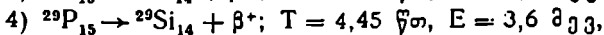
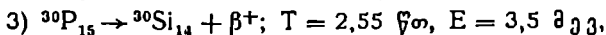
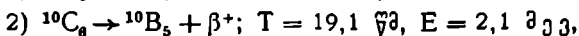
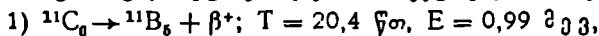
საბოლოოდ, ზემოგანხილული მონაცემების მიხედვით, ნეიტრონის პროტონად გარდაქმნის შედეგად ელექტრონის გამოტყორცნა მინდინარეობს შემდეგი რეაქციის თანახმად:



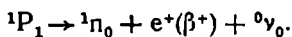
ეს იმას ნიშნავს, რომ გარკვეულ პირობებში ნეიტრონის გარდაქმნით მიიღება პროტონი, ელექტრონი და ნეიტრონი.

ინტერესმოკლებული არაა აღინიშნოს ისიც, რომ თავისუფალ მდგომარეობაში მყოფი ნეიტრონი თავისთავად იშლება პროტონად და ელექტრონად. ექსპერიმენტულად დადგენილი მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 12,8 წუთს.

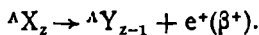
პოზიტრონულ ბეტა-გარდაქმნას მიეკუთვნებიან რეაქციები:



ბეტა-ელექტრონული გარდაქმნის ახსნისას მოყვანილი მსჯელობის ანალოგიურად მტკიცდება ის, რომ პოზიტრონული რადიოაქტიური ბირთვის არამდგრადობის მიზეზი ზედმეტი პროტონია, იგი მდგრად მდგომარეობაში გადადის ზედმეტი პროტონის ნეიტრონში გადასვლით, ბეტა-ნაწილაკებისა და ნეიტრონის გამოსხივებითურთ შემდეგი რეაქციის თანახმად:

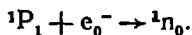


ეს იმას ნიშნავს, რომ გარკვეულ პირობებში პროტონის დაშლით მიიღება ნეიტრონი, პოზიტრონი და ნეიტრონი. ნეიტრონი რჩება ატომბირთვში და, რადგან ნეიტრონი პროტონის გარდაქმნით იქნა მიღებული, ერთი ერთეულით ამცირებს მის დადებით მუხტს, ხოლო პოზიტრონი და ნეიტრონი გამოსხივდება. ეს კი აპირობებს პოზიტრონულ ბეტა-გამოსხივებას, რაც სქემატურად შემდეგნაირად გამოისახება:



K-მიტაცება. ძალიან გავრცელებულია აგრეთვე ბირთვული გარდაქმნის შესაბამე, რომელიც 1935 წელს აღვარესმა აღმოაჩინა, და მიმდინარეობს გარკვეულ ენერგეტიკულ პირობებში.

ბირთვთან უახლოესი ან ახლოს მყოფი ელექტრონის მიტაცებას ბირთვის მიერ და ერთ-ერთ ჰარბ პროტონთან ურთიერთმოქმედების შედეგად პროტონის ნეიტრონად გადაქცევის პროცესს ეწოდება K-მიტაცება, რაც შემდეგი რეაქციის თანახმად მიმდინარეობს:



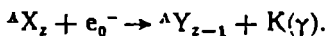
ამრიგად, ზოგიერთ შემთხვევაში ჰარბი პროტონების შემცველი ბირთვები პოზიტრონული გამოსხივების ნაცვლად, წარიტაცებს რა ელექტრონს პროტონის ნეიტრონად გარდაქმნის შედეგად, ელემენტის რიგითი ნომერი ერთი ერთეულით მცირდება, ხოლო ქვედა

ელექტრონულ გარსში განთავსუფლებულ ადგილზე, ერთ-ერთ გარე ფარსიდან ელექტრონის გადმოსვლის გამო, ელექტრონული გარსების ენერგეტიკულ დონეთა სხვაობა იძლევა რენტგენის დამახასიათებელ გამოსხივებას. ხშირ შემთხვევაში ბირთვის ენერგეტიკულ დონის დარღვევის გამო K-მიტაცებას თან ახლავს γ -გამოსხივება. თუ გამოსხივებული პოზიტრონი სწრაფად შეუერთდა ელექტრონს, მიიღება γ -გამოსხივების ორი კვანტი: $e^+ + e^- \rightarrow 2h\nu$. წარმოქმნილ კვანტებს შეუძლიათ ატომის ელექტრული გარსიდან გამოტყორცნონ ელექტრონები შესაბამისი ენერგიით. მეორადი ელექტრონების ასეთ გამოსხივებას შინაგანი კონვერსია ეწოდება.

K-მიტაცებზე მაგალითებია:

- 1) ${}^7\text{Be}_4 + e_0^- \rightarrow {}^7\text{Li}_3 + K^1$; $T = 53$ დღეს,
- 2) ${}^{50}\text{V}_{23} + e_0^- \rightarrow {}^{50}\text{Ti}_{22} + K$; $T = 3 \cdot 10^{15}$ წელს,
- 3) ${}^{56}\text{Fe}_{26} + e_0^- \rightarrow {}^{56}\text{Mn}_{25} + K$; $T = 2,94$ წელს,
- 2) ${}^{76}\text{Se}_{34} + e_0^- \rightarrow {}^{76}\text{As}_{33} + K$; $T = 125$ დღეს.

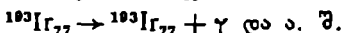
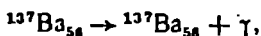
K-მიტაცება ზოგადი ფორმულით ასე გამოიხატება:



განხილული მაგალითებიდან ჩანს, რომ როგორც ელექტრონული, ისე პოზიტრონული β -გამოსხივებისა და K-მიტაცების დროს მასის რიცხვი პრაქტიკულად არ იცვლება, რაც იმით აიხსნება, რომ ორი პირველთაგანის მასა 1840-ჯერ ნაკლებია წყალბადის მასასთან შედარებით, ხოლო ნეიტრონის მასა კი ელექტრონის მასაზედაც მეტისმეტად მცირეა.

გამა-გამოსხივება. ალფა- და, განსაკუთრებით, ბეტა-გამოსხივებას თან ახლავს გამა-გამოსხივება.

გამა-გამოსხივება წარმოადგენს აგზნებული ატომბირთვის ძირითად მდგომარეობაში გადასვლის გამოხატულებას, ანუ იზომერულ გარდაქმნას:



როგორც ენახეთ, გამა-კვანტების გამოსხივება თან ახლავს აგრეთვე შინაგან კონვერსიას.

გამა-გამოსხივება არ იწვევს მახის რიცხვისა და რიგითი ნომრის ცვლილებას, რადგან გამა-სხივები უმუხტონი არიან და ელექტრომაგნიტური რხევითი მასის მქონენი.

¹ K-რენტგენის სხივების გამა-გამოსხივების აღმნიშვნელია, რასაც ადგილი აქვს K-მიტაცების შემთხვევაში.

მაიონიზებული გამოსხივების ყველა სახე, როგორცაა ალფა-ნაწილაკები, ბეტა-ნაწილაკები, გამა-კვანტები, ნეიტრონები და სხვა, შეიძლება აღმოჩენილ და გაზომილ იქნან მხოლოდ იმ ეფექტის მიხედვით, რომელიც წარმოიქმნება მაიონიზებელ გამოსხივებათა და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედების დროს. მაიონიზებელ გამოსხივებათა მოქმედების ეფექტის ცოდნა აუცალებელია აგრეთვე ცოცხალ ორგანიზმზე მაიონიზებელ გამოსხივებათა მოქმედების გაგებისა და შეფასებისათვის.

1. მუხტიანი ნაწილაკებისა და ნივთიერებათა ურთიერთქმედება. ალფა-ნაწილაკები. α -ნაწილაკის წონა უდრის 4,03 ატომურ ერთეულში; ის წარმოადგენს დადებითად დამუხტულ ნაწილაკს. აბსოლუტურ ერთეულებში ალფა-ნაწილაკის მუხტის სიდიდე ორი ელექტრონის მუხტის ტოლია. ამრიგად, ალფა-ნაწილაკი ორი პროტონისა და ორი ნეიტრონისაგან შედგება, ე. ი. წარმოადგენს ჰელიუმის ატომბირთვს (${}^4\text{He}_2$). ალფა-ნაწილაკის საწყისი სიჩქარე უდრის 15000—20000 კმ წამში. ნივთიერებაში მოძრაობისას ალფა ნაწილაკის საწყისი სიჩქარე თანდათანობით მცირდება და ბოლოს და ბოლოს, — გარკვეული მანძილის გავლის შემდეგ, ალფა-ნაწილაკის მოძრაობა მოლეკულებში ატომების მოძრაობის ტოლი გახდება. იმ მანძილს, რომელსაც ალფა-ნაწილაკი გაივლის საწყისი მომენტიდან მოლეკულურ მოძრაობაზე გადასვლის მომენტამდე, ალფა-ნაწილაკების ნივთიერებებში შეღწევადობა, ანუ გარბენის სიგრძე ეწოდება.

ალფა-ნაწილაკი მოძრაობის შენელებისას იქნის ორ ელექტრონს და ჰელიუმის ატომად გარდაიქმნება. ალფა-ნაწილაკების სიჩქარის შენელებას იწვევს გარემო არეს ატომებთან ან მოლეკულებთან მიბი დაჯახება. ალფა-ნაწილაკი ატომებთან დაჯახებისას იწვევს ატომების იონიზაციას. ამ დროს ალფა-ნაწილაკი თავის ენერჯიის ნაწილს კარგავს. ალფა-ნაწილაკის მიერ იონიზაციის გამოწვევის არსი, ისე როგორც ყველა დამუხტული ნაწილაკისა, ის არის, რომ თუ დამუხტული ნაწილაკი ატომს დიდი მანძილით გაუვლის, მაშინ ის ელექტრონეიტრალურ ატომზე არ მოქმედებს. მაგრამ თუ დამუხტული ნაწილაკი შეიჭრა ატომის გარსში, მაშინ მანძილიდან მისსა და ატომის ელექტრონებს შორის წარმოიქმნება ურთიერთმოქმედი ელექტრული ძალები. ამ ძალების მოქმედებით ერთი ან რამდენიმე ელექტრონი შეიძლება ამოტყორცნილ იქნას ატომიდან. ამრიგად, ატომებზე მრავალჯონს შეჯახების შემდეგ ალფა-ნაწილაკის მთელი ენერჯია იონიზაციის პროცესისათვის დაიხარჯება. ალფა-ნაწილაკს დიდი მაიონიზებელი თვისება ახასი-

ათებს. ის 1 სმ ჰაერში გარბენის დროს 30000-მდე წყვილ იონს წარმოქმნის. ერთი ალფა-ნაწილაკის საშუალო ენერგია დაახლოებით 6000000 ელექტრონვოლტის ტოლია, ხოლო ჰაერში ერთი წყვილი იონის წარმოსაქმნელად საჭიროა დაახლოებით 35 ელექტრონვოლტი ენერგია. ამი-

ტომ ერთი ალფა-ნაწილაკი ჰაერში წარმოქმნის დაახლოებით $\frac{6000000}{35} \approx 170000$ წყვილ იონს.

ალფა-ნაწილაკის ჰაერში შეღწევადობა საშუალოდ უდრის 7 სმ, მხოლოდ მაქსიმალური ენერგიის მქონე ალფა-ნაწილაკს შეუძლია ჰაერში შეაღწიოს 11 სმ-მდე; ამიტომ ალფა-ნაწილაკით გამოწვეული ხვედრითი იონიზაცია ძალიან დიდია. ხვედრითი იონიზაცია ეწოდება ნებისმიერი მაიონიზებელი ნაწილაკის მიერ ერთი მილიმეტრი ან ერთი სანტიმეტრი მანძილის გავლისას წარმოქმნილი წყვილი იონების რიცხვს.

ალფა-ნაწილაკის მიერ გარბენილი მანძილის ჰხვადასხვა მონაკვეთში ხვედრითი იონიზაცია სხვადასხვა იქნება. გარბენის საწყის მომენტში ხვედრითი იონიზაცია თითქმის თანაბარია, ხოლო გარბენის უკანასკნელ მომენტში ორჯერ მეტად იზრდება და ერთ მილიმეტრზე უდრის დაახლოებით 6500 წყვილ იონს.

გარდა ალფა-ნაწილაკისა, იონიზაცია შეუძლია გამოიწვიოს ალფა-ნაწილაკების მოქმედებით ამოტყორცნილ ზოგიერთ ელექტრონს, რომლებმაც ალფა-ნაწილაკებისაგან მიიღეს იონიზაციის გამოწვევისათვის საჭირო ენერგია. ამ მეორადი იონიზაციის გამომწვევე ელექტრონებს დელტა-სხივები (ბ-სხივები) ეწოდებათ. დელტა-სხივები გარკვეულ როლს ასრულებს იონიზაციის პროცესში.

ატომებისა და მოლეკულების აგზნება. თუ ალფა-ნაწილაკის სიჩქარე შემცირდა იმდენად, რომ მისი ენერგია უკვე საკმარისი არ იქნა ნივთიერებათა იონიზაციისათვის, მაშინ ალფა-ნაწილაკის ენერგია ძირითადად დაიხარჯება ატომებისა და მოლეკულების აგზნებისათვის.

ატომებისა და მოლეკულების აგზნებას მექანიზმი მდგომარეობს იმაში, რომ ატომების (მოლეკულების) ელექტრონულ გარსსა და ალფა-ნაწილაკების ურთიერთმოქმედებისას ელექტრონების ამოუტყორცნელად ადგილი აქვს ალფა-ნაწილაკების ენერგიის შთანთქმას ატომების ან მოლეკულების მიერ და წარმოიქმნება აგზნებული ატომები ან მოლეკულები. საბოლოოდ აგზნებისათვის დახარჯული მთლიანი ენერგია გადადის სითბურში და ნივთიერება ხუნდება. ზოგიერთ ნაერთთან ალფა-ნაწილაკის მოქმედებისას ადგილი აქვს ლუმინესცენციას.

აღფანაწილაკებით ატომების ამოტყორცნა. იშვიათ შემთხვევაში, მაგრამ მაინც ყოველ 10000 ატომბირთვიდან ერთზე ხდება ალფა-ნაწილაკის სწორხაზობრივი შეჯახება ატომბირთვთან; ამ დროს იგი თავის სწორხაზოვან მიმართულებას შეიცვლის, ხოლო ამოტყორცნილი ატომი კი განავრცობს მოქმედებას ნივთიერებებზე ისე, როგორც ალფა-ნაწილაკი.

ალფა-ნაწილაკის მიერ ენერგიის გახარჯვის განხილული სამივე სახე განსაზღვრავს გარემო ნივთიერებებით ალფა-სხივების დამუხრუჭების ხასიათს. დადგინდა, რომ ჰაერში ალფა-ნაწილაკების R სანტიმეტრებით გამოსახულ განარბენ მანძილსა და მის საწყის ენერგია E-ს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$R = KE^{3/2}, \quad (1-46)$$

სადაც K-მუდმივა, თუ ენერგია გამოსახულია მე ევ-ში, უდრის 0,318, ხოლო თუ ენერგია გამოსახულია ჯოულებში, იგი უდრის $4,95 \cdot 10^{18}$.

ალფა-ნაწილაკის მიერ გასარბენ ნივთიერების სიმკვრივის ზრდასთან ერთად მისი შეღწევადობა მცირდება. ასე, მაგალითად: ალფა-ნაწილაკებისათვის შეღწევადობის მაქსიმალური სიდიდე წყალში 0,06 მილიმეტრია, ალუმინის ფირფიტაში და რკოვან კანში 0,05 მილიმეტრამდე, რბილ ქსოვილში 0,2—0,6 მილიმეტრამდე, რკინაში 0,02 მილიმეტრამდე; ერთ ფურცელ ქალაღს ვერ ატანს. ადამიანის ტანსაცმლით მთლიანად შთაინთქმება.

ბეტა-ნაწილაკები. როგორც ელექტრონული, ისე პოზიტრონული ბეტა-ნაწილაკების მასა ელექტრონის მასის ტოლია. ელექტრონები და პოზიტრონები შესაბამისად წარმოადგენენ უარყოფითად და დადებითად დამუხტულ ნაწილაკებს.

ბეტა-ნაწილაკების საწყისი სიჩქარე უდრის 150000—290000 კმ წამში. ალფა-ნაწილაკების ანალოგიურად, ნივთიერებაში მოძრაობისას ბეტა-ნაწილაკების საწყისი სიჩქარეც თანდათანობით მცირდება და გარკვეული მანძილის გავლის შემდეგ ბეტა-ნაწილაკების მოძრაობა მოლეკულებში ატომების მოძრაობის ტოლი გახდება. ალფა-ნაწილაკების ანალოგიურად, ბეტა-ნაწილაკებიც იწვევენ ატომების იონიზაციას, ხოლო იონიზაციის სიმკვრივე კი გაცილებით ნაკლებია. 1 მე ევ ($1,6 \cdot 10^{18}$ ჯოული) ენერგიის მქონე ბეტა-ნაწილაკი ჰაერში ერთ სანტიმეტრ მანძილზე გარბენის დროს 50—100 წყვილ იონს წარმოქმნის, ხოლო მთელ თავის განარბენ მანძილზე კი 30000-მდე წყვილ იონს. სამაგეროდ ბეტა-ნაწილაკები მეორად იონიზაციას იწვევენ გაცილებით მეტად, ვინემ ალფა-ნაწილაკები. მეორადი დელტა-იონიზაცია ამ შემთხვევაში საერთო იონიზაციის 70%-ს შეადგენს, ხოლო ატომებისა და

მოლეკულების აგზნებისათვის კი ნაკლებ ენერგიას ხარჯავს. ბეტა-ნაწილაკების ატომბირთვთან პირდაპირი დაჯახება და ატომბირთვის ამოგლეჯვის შემთხვევა შემჩნეული არ ყოფილა. მაღალი ენერგიის მქონე ბეტა-ნაწილაკების შემთხვევაში მხედველობაში უნდა მივიღოთ აგრეთვე ატომბირთვის ელექტრული ველის მიერ ბეტა-ნაწილაკების დამუხრუჭებისას გარკვეული რაოდენობით ენერგიის გახარჯვის ფაქტი, რაც გამოვლინდება რენტგენის სხივების გამოსხივებით.

ალფა-ნაწილაკებისგან განსხვავებით, ბეტა-ნაწილაკების ნივთიერებებთან შეღწევის ტრაექტორია არაა სწორხაზოვანი. როგორც მსუბუქი და მუხტიანი ნაწილაკი, იგი ატომებისა და მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით ძლიერ გადახრას განიცდის. ამრიგად, მისი გარბენის კვალი ტეხილია. ამიტომ კემმარიტი მისი განარბენი მანძილი ყოველთვის 1,5—4-ჯერ მეტია, ვიდრე შთანთქმელის შთანთქმის სისქით განსაზღვრული მანძილი.

ნივთიერებების მიერ ბეტა-ნაწილაკთა შთანთქმა თითქმის ზუსტად აღინუსნება შემდეგი განტოლებით:

$$I = I_0 e^{-\mu R}, \quad (1-47)$$

სადაც I არის R სისქის მქონე შთანთქმელით შთანთქმული ბეტა-ნაწილაკების რაოდენობა;

μ — შთანთქმის სწორხაზოვანი კოეფიციენტი (სმ^{-1});

I_0 — შთანთქმამდე ბეტა-ნაწილაკების (გამოსავალი) რაოდენობა.

როგორც წესი, ელექტრონისა და პოზიტრონის წყვილი ყოველთვის წარმოქმნის ორ გამა-კვანტს. ამიტომ ბეტა-პოზიტრონულ გარდაქმნას ყოველთვის თან ახლავს გამა-გამოსხივება.

ბეტა-ნაწილაკების შეღწევადობის უნარიანობა აღემატება ალფა-ნაწილაკების შეღწევადობას. დიდი ენერგიის მქონე ბეტა-ნაწილაკებისათვის შეღწევადობის მაქსიმალური სიდიდე ჰაერში 15 მეტრია, წყალში 12,5 მილიმეტრი, ალუმინში 4,9 მილიმეტრი, ქსოვილებში 8 მილიმეტრი.

აღსანიშნავია, რომ ალფა-ნაწილაკი წყალთან ურთიერთმოქმედების დროს საშუალოდ ყოველი მესამე მოლეკულის იონიზაციას იწვევს, ბეტა-ნაწილაკი კი მხოლოდ ყოველი მეთათხედისას.

2. გამა-კვანტებისა და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედება. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გამა-გამოსხივება წარმოებს ცალკეული ულუფების სახით, ანუ კვანტებად, რომელთაც აგრეთვე ფოტონები ეწოდებათ. ფოტონები წარმოადგენენ „სინათლის ნაწილაკებს“. მრავალი ელემენტარული ნაწილაკებისაგან განსხვავებით, ფოტონებს

არ გააჩნიათ მოსვენებითი მანა, არამედ აქვთ ელექტრომაგნიტური მანა.

გამა-გამოსხივება წარმოადგენს ელექტრონეიტრალურ, მაგნიტური რხევითი მასის მქონე მატერიალურ ნაწილაკს, რომლის საწყისი სიჩქარე უდრის 300000 კმ/წამში.

გამა-გამოსხივების ენერგია დამოკიდებულია მისი შეაბამისი ტალღის სიგრძეზე. გამა-გამოსხივების ტალღის სიგრძესა და კვანტის ენერგიას შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$E = \frac{1,234 \cdot 10^{-4}}{\nu}$$

სადაც E კვანტის ენერგიაა ელექტრონვოლტებში; ν —გამოსხივებული ტალღის სიგრძე სმ-ით.

რაც უფრო მეტია კვანტის ენერგია, მით უფრო ნაკლებია გამო-სხივებული ტალღის სიგრძე და, პირუკუ.

შელწვევად გამოსხივებათა შორის ერთ-ერთ უდიდეს შელწვევაღობის უნარს იჩენს გამა-გამოსხივება. გამა-გამოსხივების ნივთიერებებში შელწვევაღობის უნარი გაცილებით მაღალია ალფა- და ბეტა-ნაწილაკების შელწვევაღობასთან შეფარდებით. ჰაერში გამა-გამოსხივება რამდენიმე ასეულ მეტრს გაიარებნა.

საშუალო ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივების შელწვევაღობა ალუმინის ფირფიტაში ასეთია:

Al 6,3 სმ სისქის მქონე ფირფიტა 2-ჯერ ამცირებს,

Al 12,6 სმ სისქის მქონე ფირფიტა 4-ჯერ ამცირებს,

Al 18,9 სმ სისქის მქონე ფირფიტა 8-ჯერ ამცირებს.

1 მეგ ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივების ნახევარ შესუსტებისათვის საჭიროა ტყვიის ფურცელი სისქით 1 სმ ფოლადი 1,5 სმ, ალუმინი 4,4 სმ, ჰაერი 85 მეტრი, ხოლო 2 მეგ ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივების ნახევარ შესუსტებისათვის საჭიროა ტყვიის ფურცელი სისქით 1,4 სმ, ფოლადი 2,1 სმ, ალუმინი 6 სმ, ჰაერი 120 მეტრი. გამა-გამოსხივების გავრცელებას თან ახლავს ჰაერის იონიზაცია, მაგრამ ეს ნაწილაკთან შედარებით დაახლოებით 1000-ჯერ მცირე ინტენსივობით. გარდა ამისა, რადვან გამა-სხივებს ელექტრული მუხტი არ გააჩნიათ, ნივთიერებებთან მათი ურთიერთმოქმედება განსხვავებულია ალფა- და ბეტა-ნაწილაკების მოქმედებასთან შედარებით.

ატომების არეში გამა-კვანტების მოქმედების სამი სახეა ცნობილი: 1. ფოტოელექტრული ეფექტი, 2. კომპტონ-ეფექტი და 3. ელექტრონ-პოზიტრონის წყვილების წარმოქმნა.

1) ფოტოელექტრული ეფექტი. ფოტონების (გამაკვანტების) მოქმედებით ნივთიერებიდან ელექტრონების გამოსხივების შოვლენას ფოტოელექტრული ეფექტი ეწოდება. ფოტოელექტრული ეფექტი ისეთი პროცესია, როდესაც გამა-გამოსხივების ფოტონების ენერჯიის P ნაწილი იხარჯება ნივთიერებიდან ელექტრონის ამოტყორცნაზე, ხოლო ფოტონის ენერჯიის მეორე ნაწილი ანიკებს ელექტრონის კინეტიკურ ენერჯიას. ამრიგად, ფოტონის ენერჯია მთლიანად გადაეცემა ატომის იმ ელექტრონს, რომელსაც ის დაეჯახება. გამოტყორცნილი ფოტოელექტრონის კინეტიკური ენერჯია დამოკიდებულია გამომტყორცნი ფოტონის ენერჯიაზე. რადგან თითო ფოტონი ერთ ელექტრონს იძლევა, ეს პროცესი ემორჩილება შემდეგ კანონს:

$$h\nu = P + \frac{1}{2}mv^2,$$

სადაც $h\nu$ ფოტონის ენერჯიაა; P —იონიზაციისა და ატომიდან ელექტრონის ამოტყორცნისათვის დახარჯული მუშაობა; $\frac{1}{2}mv^2$ —ამოტყორცნილ ელექტრონის კინეტიკური ენერჯია.

ამრიგად, პირველადი ფოტონის (გამა-კვანტის) ენერჯია ნაწილდება იონიზაციისა და ელექტრონის გამოტყორცნისათვის დახარჯულ მუშაობად და გამოტყორცნილ ფოტოელექტრონის კინეტიკურ ენერჯიად, გამოტყორცნილ ფოტოელექტრონებს თავიანთი მოქმედების სფეროში შეუძლიათ ატომების იონიზაცია გამოიწვიონ.

2) კომპტონ-ეფექტი.¹ კომპტონ-ეფექტის დროს გამა-კვანტისა და ატომის ელექტრონის ურთიერთმოქმედებისას გამა-კვანტი შემხვედრ ელექტრონს გადასცემს თავისი ენერჯიის ნაწილს, რის შედეგად პირვანდელი გამა-კვანტი გარდაიქმნება უფრო გრძელი ტალღის მქონე გამა-კვანტად და მისი მიმართულებაც იცვლება, ხოლო ელექტრონი გარკვეული კუთხით ამოიტყორცნება. ესე იგი, კომპტონ-ეფექტი ფოტოელექტრული ეფექტისაგან იმით განსხვავდება, რომ კომპტონ-ეფექტის დროს გამა-კვანტის ენერჯიის ნაწილი იხარჯება ელექტრონის გარკვეული კუთხით ამოტყორცნაზე, ხოლო ნაწილი ფოტონის სახით განაგრძობს გავრცელებას გარკვეული კუთხით; რაც მეტია პირვანდელი გამა-კვანტის ენერჯია, მით ნაკლებია გავრცელების კუთხე, ხოლო ფოტო ელექტრული ეფექტის დროს გამა-გამოსხივების ფოტონის ენერჯია მთლიანად გადაეცემა იმ ელექტრონს, რომელზეც ის მოქმედებს.

¹ თუ გამა-კვანტის ენერჯია $\cong 0,5$ მევ და ელემენტის რიგითი ნომერი (Z) დიდია, მაშინ ფოტოეფექტი ჰარბობს, თუ მისი ენერჯია 2—3 მევ-ს შორის მდებარეობს, მაშინ კი კომპტონ-ეფექტი.

როგორც წესი, კომპტონ-ეფექტის დროს გამა-კვანტების გაბნევა მეორდება რამდენიმეჯერ და, ბოლოს და ბოლოს, გამა-კვანტის ენერგია მთლიანად შთაინთქმება ელექტრონის მიერ. კომპტონ-ეფექტი საბოლოოდ მთავრდება ფოტოელექტრული ეფექტით.

3) ელექტრონ-პოზიტრონის წყვილების წარმოქმნა. მოკლელაღიანი გამა-კვანტის ატომბირთვთან ურთიერთ-მოქმედებისას მოსალოდნელია კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენა. თუ გამა-კვანტის ენერგია 1,02 მე ვ-ზე მეტია, მას შეუძლია ელექტრონ-პოზიტრონის წყვილის წარმოქმნა. წყვილთა წარმოქმნის პროცესის დროს გამა-კვანტი ორ ნაწილაკად — ელექტრონად და პოზიტრონად გარდაიქმნება. ამ პროცესის ენერგიის ბალანსი შემდეგი განტოლებით გამოისახება:

$$h\nu \rightarrow e^- + e^+ + \text{კინეტიკური ენერგია.}$$

აინშტაინის $E = mc^2$. ფორმულაში თუ ელექტრონის მოსვენებით მასას ჩავსვამთ, მივიღებთ, რომ ერთი ელექტრონის წარმოქმნელად იხარჯება 0,51 მე ვ ენერგია. ასევე ერთი პოზიტრონის წარმოსაქმნელად იხარჯება 0,51 მე ვ ენერგია. ამრიგად, წყვილთა წარმოსაქმნელად გამა-კვანტის მინიმალური ენერგია უნდა იყოს არანაკლებ 1,02 მე ვ. გამა-კვანტის ქარბი ენერგია, ე. ი. 1,02 მე ვ ენერგიაზე მეტი — წარმოქმნილი ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიის სახით მეტადვრდება.

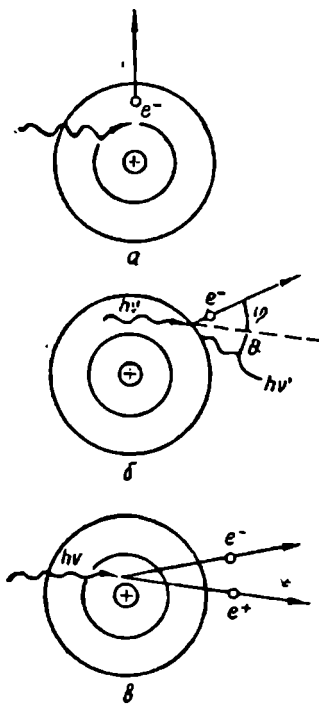
წყვილთა წარმოქმნა, როგორც ენერგიის შთანთქმის პროცესი, უფრო ძვირე ელემენტისათვის არის დამახასიათებელი; მსუბუქი ელემენტებისათვის წყვილთა წარმოქმნა პრაქტიკულად უმნიშვნელოა.

ფოტოელექტრულ და კომპტონ-ეფექტს ქარბობს წყვილთა წარმოქმნის პროცესი, მაშინ როდესაც გამა-კვანტის ენერგია 10 მე ვ-ზე მეტია.

პოზიტრონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ძალიან მცირეა. ნივთიერებასთან ურთიერთმოქმედებისთანავე პოზიტრონი თავის ენერგიას პრაქტიკულად მთლიანად კარგავს, ის უახლოეს ელექტრონს მიუერთდება და წყვილ ნაწილაკათა — ელექტრონისა და პოზიტრონის ნაცვლად წარმოიქმნება 0,51—0,51 მე ვ ენერგიის მქონე ორი გამა-კვანტი, რომლებიც მოპირდაპირე მიმართულებით გაიტყორცნებიან. წყვილ ნაწილაკები იღან ორი გამა-კვანტის წარმოქმნის პროცესს ანჰილაციის პროცესი ეწოდება. პოზიტრონებისა და ელექტრონების ანჰილაციის პროცესის შედეგად წარმოქმნილი გამა-კვანტები თავიანთ ენერგიას მხოლოდ ელექტრონებთან დაჯახების დროს კარგავენ — ფოტოელექტრული ეფექტი და კომპტონ-ეფექტი.

ფოტოეფექტის, კომპტონ-ეფექტის და წყვილთა წარმოქმნის პროცესის სქემა მოცემულია მე-20 ნახ.-ზე.

ზემოაღნიშნული სახეობის რადიაქტიური გამოსხივების ნივთიერებებთან ურთიერთმოქმედების შედეგების განხილვას მივყევართ იმ



ნახ. 20. გამა-გამოსხივების მოქმედება ნივთიერებაზე: 1—ფოტოეფექტი; 2—კომპტონ-ეფექტი, 3—წყვილთა წარმოქმნა.

დასკვნამდე, რომ ყველაზე მეტი შედეგადობა ახასიათებს გამა-სხივებს, მასზე ნაკლები — ბეტა-ნაწილაკებს და ყველაზე ნაკლები კი — ალფა-ნაწილაკებს; რაც შეეხება მათ მაიონიზებელ უნარს, ყველაზე მეტ მაიონიზებელ უნარს იჩენს ალფა-ნაწილაკები, მასზე ნაკლებს — ბეტა-ნაწილაკები და ყველაზე ნაკლებს კი გამა-სხივები.

ამრიგად, ცოცხალ ორგანიზმში მოხვედრის დროს ყველაზე საშიშია ალფა-გამომსხივებელი, ხოლო გარედან შემოქმედების დროს კი ყველაზე საშიშია გამა-გამომსხივებელი ნივთიერება.

ამასთან განოსხივების ინტენსივობა სწრაფად კლებულობს მანძილის გადილების შემთხვევაში. ინტენსივობის დაცემა დაზოგების მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. მაშასადამე, ალფა და ბეტა-გამოსხივებისაგან დასაცავად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას უმარტივესი საშუალებანი, მაშინ როდესაც გამა-გამოსხივების დასაცავად საჭიროა სპეციალური საინჟინრო ნაგებობანი და სპეციალური დაცვის საშუალებები.

3. ნეიტრონებისა და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედება. რადგან ნეიტრონს მუხტი არა აქვს, მანძილიდან არ შეუძლია ნივთიერებასთან ურთიერთმოქმედება. მხოლოდ ნივთიერების ატომბირთვებთან შეჯახებისას გადასცემს ნეიტრონი თავის ენერგიას ნივთიერებას.

ატომბირთვული რეაქციის შედეგად ამოტყორცნილი ნეიტრონების მიერ ნივთიერების ატომბირთვებთან შეჯახებისას ენერგიის გადაცემა ემორჩილება იგივე კანონებს, რომელთაც ადგილი აქვთ ორი დრეკადი ბურთულის შეჯახების დროს. როგორც ცნობილია, დიდი მასის მქონე

ბურთულასთან დაჯახებისას პატარა ბურთულა თავის ენერგიის უმნიშვნელო ნაწილს გადასცემს მას.

გატყორცნილ ბურთულის მიერ ენერგიის მაქსიმალურ გადაცემას აღვლი აქვს მაშინ, როდესაც იგი მიხვევს მასის მქონე ბურთულას დაეჯახება.

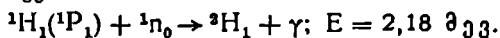
ამის ანალოგიურად, ატომბირთვთან შეჯახებისას ნეიტრონი თავისი ენერგიის ნაწილს გადასცემს ატომბირთვს და ატომიდან ამოტყორცნის პროტონს; ჰარბი ენერგიის მქონე ამოტყორცნილი პროტონი სწრაფად მიჰქრის და, როგორც ყველა მუხტიანი ნაწილაკი, თავის ენერგიას იონიზაციისათვის ხარჯავს.

ნეიტრონი ატომბირთვთან შეჯახების დროს ყველაზე მეტ ენერგიას გადასცემს წყალბადის ატომბირთვს (პროტონს), რადვან ნეიტრონი და პროტონის მასა პრაქტიკულად ტოლია. ასეთი გზით ამოტყორცნილ წყალბადის ბირთვს პროტონული გადაამცემი ეწოდება. სახელდობრ, ნეიტრონის პროტონთან შეჯახებისას ნეიტრონის ენერგიის 50% გადაეცემა პროტონს, ხოლო ნეიტრონებისა და მძიმე ატომბირთვების ურთიერთშეჯახებისას ნეიტრონი თავისი ენერგიის უმნიშვნელო ნაწილს გასცემს მძიმე ატომბირთვს. აქედან ჩანს, რომ ბევრი წყალბადის ატომების შემცველი მსუბუქი ნივთიერებები ნეიტრონებს ხარბად შთანთქავს, როგორცაა: წყალი, პარაფინი და სხვ., ხოლო მძიმე ნივთიერებებში — ტყვიამი და სხვ. კი თავისუფლად შეაღწევს.

ამრიგად, ნივთიერებებთან ურთიერთმოქმედების დროს სწრაფი ნეიტრონები თავიანთი ენერგიის ნაწილს ატომის ბირთვს გადასცემს, თვითონ კი ნელდება — სითბურ ნეიტრონად გადაიქცევა (ნეიტრონის საწყისი სიჩქარე უდრის 150000 კმ წამში). 1 მეგ ენერგიის მქონე სწრაფი ნეიტრონების სიჩქარის სრული შენელებისათვის საჭიროა წყალბადის ატომბირთვებთან დაახლოებით 20-ჯერ შეჯახება. ცხადია, უფრო მძიმე ატომბირთვებთან შეჯახებისას კი საჭიროა შეჯახებათა მეტი რიცხვი. ასე, მაგალითად, ჰელიუმის ატომბირთვთან საჭიროა დაახლოებით 40-ჯერ შეჯახება, ნახშირბადის ატომბირთვთან — დაახლოებით 100-ჯერ, ურანის ატომბირთვთან — დაახლოებით 2000-ჯერ შეჯახება და ა. შ.

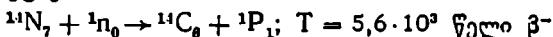
წყალბადშემცველ ნივთიერებებთან, როგორცაა წყალი, პარაფინი, ქსოვილები და ა. შ. შეჯახებისას ნეიტრონების მიერ გაცემული ენერგიის 90% შოდის წყალბადის ატომბირთვთან ურთიერთმოქმედებაზე, დანარჩენი 10% კი იხარჯება სხვა ატომბირთვებთან შეჯახებისას.

სწორად ატომბირთვის მიერ ნეიტრონების მიტაცებას თან ახლავს გამა-გამოსხივება:

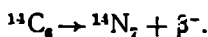


წყალბადის ატომბირთვისა და ნეიტრონის ურთიერთმოქმედების გარდა ცოცხალი ორგანიზმის ქსოვილებში შეშავალ ელემენტებზე ნეიტრონის მოქმედების თვალსაზრისით საინტერესოა აგრეთვე მისი მოქმედება აზოტზე, ნახშირბადაზე, ნატრიუმზე, ფოსფორზე და ა. შ., რადგან მათი ურთიერთმოქმედების შედეგად მიიღება რადიოაქტიური იზოტოპები, რომელთა მოქმედებით ორგანიზმში ვითარდება პათოლოგიური ძვრების კომპლექსი, ე. წ. სხივური დაავადება.

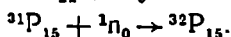
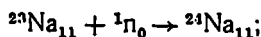
ქსოვილებში შეშავალ ჩამოთვლილ ელემენტებსა და ნეიტრონების ურთიერთმოქმედების შედეგად მიმდინარეობს შემდეგი ატომბირთვული რეაქციები:



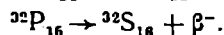
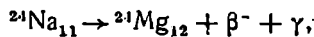
${}^{14}\text{C}_6$ —იზოტოპი, გამოასხივებს რა ბეტა-ნაწილაკებს, გარდაიქმნება სტაბილურ აზოტად



ნეიტრონების მოქმედებით ნატრიუმისა და ფოსფორის სტაბილური იზოტოპებიც გარდაიქმნებიან რადიოაქტიურ იზოტოპებად.



${}^{24}\text{Na}_{11}$ და ${}^{32}\text{P}_{15}$ ბეტა-გამომსხივებელი არიან. ბეტა-გამოსხივების შემდეგ ისინი მაგნიუმისა ${}^{24}\text{Mg}_{12}$ და გოგირდის ${}^{32}\text{S}_{16}$ სტაბილურ იზოტოპებად გარდაიქმნებიან:



ნელი ნეიტრონების მოქმედებით გააქტივებული ატომბირთვების დაშლის შედეგად წარმოქმნილი გამოსხივების ქსოვილებთან ურთიერთმოქმედების დროს მიიღება შედარებით მცირე — 1%-მდე დამატებითი იონიზაცია, მაშინ როდესაც წყალბადის ატომბირთვებიდან მიღებული გამა-სხივებისა და აზოტის ატომბირთვებიდან ამოტყორცნილი პროტონების ქსოვილებთან ურთიერთმოქმედების შედეგად წარმოქმნილი დამატებითი იონიზაციის ჯამი პირველთან შედარებით 99%-ს უდრის.

როგორც შემოგანხილული მაგალითებიდან ჩანს, ნეიტრონებით ქსოვილების დასხივებისას ნეიტრონები თავიანთ ენერჯიას ატომბირთვებთან შეჯახებისას ხარჯავენ, იწვევენ სხვადასხვაგვარ ატომბირთვულ

რეაქციებს, რომელთა შედეგად წარმოიქმნება გამა-კვანტები, პროტონული გადამცემი და რიგი რადიოიზოტოპებისა. ნივთიერებასთან მათი ურთიერთმოქმედებისას კი წარმოიქმნება იონები.

ნივთიერებებთან სხვადასხვა სახის გამოსხივების ურთიერთმოქმედების შედეგებს შორის განსხვავება მხოლოდ ის არის, რომ ისინი იწვევენ სხვადასხვა სიმკვრივის იონიზაციას.

ქსოვილში ან ნებისმიერი სხვა ნივთიერების 1 სმ მანძილზე წარმოქმნილ იონთა წყვილს იონიზაციის სიმკვრივე ეწოდება.

ალფა-ნაწილაკებისა და პროტონების მიერ გამოწვეული იონიზაციის სიმკვრივე გაცილებით მეტია, ვიდრე ბეტა-ნაწილაკებითა და გამა-კვანტებით გამოწვეული იონიზაციის სიმკვრივე.

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ მარტივ ნივთიერებებზე ალფა-, ბეტა- და გამა-გამოსხივების მოქმედების დროს ქიმიურ გარდაქმნას არა აქვს ადგილი, რადგან ჩვეულებრივად ეს გამოსხივებები ატომბირთვულ რეაქციას არ იწვევენ, არამედ ატომებს მხოლოდ ელექტრონებს აკლიან. წარმოქმნილი მოპირდაპირე მუხტიანი იონები მიიზიდავენ ერთმანეთს და ხელახლა წარმოიქმნება ნეიტრალური ატომები და მოლეკულები (იონებიდან ნეიტრალური ატომებისა და მოლეკულების წარმოქმნის პროცესს რეკომბინაცია ეწოდება). ხოლო მარტივ ნივთიერებებზე ნეიტრონების მოქმედებისას მიმდინარეობს ატომბირთვული რეაქცია, რის შედეგად მარტივი ნივთიერების ატომბირთვი შეიძლება სხვა ელემენტის ატომბირთვად გარდაიქმნას.

რაც შეეხება რთულ ნივთიერებებს, ყველა სახის მაიონიზებელი გამოსხივება რთულ ნივთიერებებში იწვევს ქიმიურ გარდაქმნას, რადგან რთულ ნივთიერებებში შემავალი სხვადასხვა ატომებიდან წარმოქმნილი იონების რეკომბინაცია ყოველთვის როდი იძლევა გამოსავალი ნივთიერების მოლეკულას, მათ შეიძლება წარმოქმნან ახალი ნეიტრალური მოლეკულა. რაც უფრო რთულია ნივთიერება, მით უფრო რთული პროცესები მიმდინარეობს მასში დასხივების დროს. აქედან ცხადია, რომ მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედებას ადამიანის ორგანიზმში შეუძლია გამოიწვიოს რიგი ბიოქიმიურ და ბიოლოგიურ ცვლილებათა კომპლექსი. მაიონიზებელ გამოსხივებათა ბიოლოგიური მოქმედება ქვემოთაა განხილული.

ატომბირთვულ გამოსხივებათა საზომი ერთეულები

1. აქტივობის საზომი ერთეულები. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, რადიოაქტიური ელემენტების ძირითად დამახასიათებელ თვისებად ითვლება მათი დაშლის სიჩქარე, ვინაიდან რაც მეტი ატომბირთვები იშ-

ლება დროის ერთეულში, მით მეტია გამოსხივების ინტენსივობა, და პირუკუ.

რადიოაქტიური ელემენტების დაშლის სიჩქარეს რადიოელემენტის აქტივობა ეწოდება. აქტივობის ქვეშ იგულისხმება დროის ერთეულში (წამში, წუთში და ა. შ.) დაშლილი დედისეული ატომბირთვების რიცხვი.

თუ რადიოაქტიური ნივთიერების საწყის აქტივობას, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი არის T , ავლნიშნავთ A_0 , ხოლო t დროის გავლის შემდეგ დარჩენილ რადიოაქტიურ ნივთიერების აქტივობას A -თი, მაშინ ნახევრად დაშლის პერიოდის განხილვის დროს მოცემული განტოლება $N = N_0 e^{-\lambda t}$ -დან, N და N_0 -ის ნაცვლად A და A_0 ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$A = A_0 e^{-\lambda t},$$

$$\text{ანუ} \quad A = \frac{A_0}{e^{\lambda t}},$$

რომლის გალოგარიტმებით მივიღებთ:

$$\lg A = \lg A_0 - \lambda t \lg e, \quad (1-48)$$

რადგან $e = 2,718$, ხოლო $\lg 2,718 = 0,434$, ამ მნიშვნელობის ჩასმა (1-48) ფორმულაში იძლევა:

$$\lg A = \lg A_0 - \lambda t \cdot 0,434; \quad \text{ვინაიდან}$$

$$\lambda t = \frac{0,693 \cdot t}{T}, \quad \text{მივიღებთ}$$

$$\lg A = \lg A_0 - \frac{0,693 \cdot t \cdot 0,434}{T}. \quad (1-49)$$

მაშასადამე, ერთი და იმავე რაოდენობის ატომების შემცველი ნებისმიერი რადიოელემენტის აქტივობა მით უფრო მეტია, რაც უფრო ნაკლებია ნახევრად დაშლის პერიოდი T , და პირუკუ.

რადიოაქტიურ ნივთიერებათა რაოდენობას ხშირად აზუსიათებენ არა მასის, არამედ აქტივობის მიხედვით.

რადიოაქტივობის საზომ ერთეულად მიღებულია კიური (Кюри). კიური უდრის ნებისმიერ რადიოაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^{10}$ ატომბირთვი, ანუ $3,7 \cdot 10^{10}$ ატომბირთვი.

აქტივობის საზომ ერთეულად პრაქტიკაში უფრო გამოყენებულია კიურიდან წარმოებული აქტივობის საზომი ერთეულები, როგორცაა

მილიკიური (MKIYPI), მიკროკიური, (MKKIYPI), ნანოკიური (HKIYPI), პიკოკიური (PKIYPI). ბირთვეული რეაქტორების პრაქტიკაში განსაკუთრებით გამოიყენება კიურზე დიდი აქტივობის საზომი ერთეულები, როგორცაა კილოკიური (KKIYPI) და მეგაკიური (MKIYPI).

მილიკიური — კიურის მეათასედი ნაწილია, ე. ი. მილიკიური უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^7$ ატომბირთვი.

მიკროკიური — კიურის მემილიონედი ნაწილია, ე. ი. მიკროკიური უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^4$ ატომბირთვი.

ნანოკიური, ანუ მილიმიკროკიური — კიურის მემილიარდედი ნაწილია, ე. ი. ნანოკიური უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^1$ ატომბირთვი.

პიკოკიური, ანუ მიკრომიკროკიური — კიურის მეტრიმილიონედი ნაწილია, ე. ი. პიკოკიური უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^{-2}$ ატომბირთვი.

კილოკიური — ათასჯერ მეტია კიურზე, ე. ი. კილოკიური უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^{13}$ ატომბირთვი.

მეგაკიური — მილიონჯერ მეტია კიურზე, ე. ი. მეგაკიური უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც ერთ წამში იშლება $3,7 \cdot 10^{16}$ ატომბირთვი.

მაშასადამე, 1 კიური = 10^3 მილიკიურს = 10^6 მიკროკიურს = 10^9 ნანოკიურს = 10^{12} პიკოკიურს = 10^3 კილოკიურს = 10^6 მეგაკიურს $3,7 \cdot 10^{10}$ დაშლას 1 წამში = $2,22 \cdot 10^{12}$ დაშლას 1 წუთში.

ზნირად ადამიანების, ცხოველების, ნიადაგის და სხვათა ზედაპირის რადიაქტიური მოწამელის ხარისხს ზომავენ რადიაქტიური ატომების დაშლის რაოდენობის მიხედვით, გამოსაკვლევი ზედაპირის კვადრატული სანტიმეტრი ფართობიდან წუთში. ამიტომ პრაქტიკაში უფრო მიღებულია კიურის გამოხატვა ასე: დაშლა 1 წუთში.

- 1 კიური — $2,22 \cdot 10^{12}$ დაშლა/წუთში;
- 1 მილიკიური — $2,22 \cdot 10^9$ დაშლა/წუთში;
- 1 მიკროკიური — $2,22 \cdot 10^6$ დაშლა/წუთში;
- 1 ნანოკიური — $2,22 \cdot 10^3$ დაშლა/წუთში;
- 1 პიკოკიური — $2,22$ დაშლა/წუთში.

1 დაშლა/წუთში = $4,5 \cdot 10^{-1}$ პიკოკიურს = $4,5 \cdot 10^{-4}$ ნანოკიურს = $4,5 \cdot 10^{-7}$ მიკროკიურს = $4,5 \cdot 10^{-10}$ ზილიკიურს = $4,5 \cdot 10^{-13}$ კიურს = $4,5 \cdot 10^{-16}$ კილოკიურს = $4,5 \cdot 10^{-19}$ მეგაკიურს.

უკანასკნელ ხანს ხშირად მიმართავენ ახალ ერთეულს „რეზერფორდს“ (rd).

რეზერფორდი უდრის ნებისმიერი რადიაქტიური ელემენტის ისეთ რაოდენობას, რომელშიც 1 წამში იშლება 1 მილიონი ატომბირთვი, ანუ 10^6 ატომბირთვი, ე. ი. 1 რეზერფორდი 37000-ჯერ ნაკლებია 1 კიურიზე. რეზერფორდიდან წარმოებული აქტივობის საზომი ერთეულებია: მილირეზერფორდი (mrd) და მიკრორეზერფორდი (μ rd).

მილირეზერფორდი რეზერფორდის მეათასედი ნაწილია, ე. ი. მილირეზერფორდს შეესაბამება 10^3 ატომბირთვის დაშლა 1 წამში.

მიკრორეზერფორდი რეზერფორდის მემილიონედი ნაწილია, ე. ი. მიკრორეზერფორდს შეესაბამება თითო ატომბირთვის დაშლა 1 წამში. ამრიგად:

$$1rd = 10^3mrd = 10^6\mu rd;$$

$$1\mu rd = 10^{-3}mrd = 10^{-6}rd;$$

$$1\mu rd = 1 \text{ დაშლას/წამში.}$$

მახე. მახე ისეთი ერთი ლიტრი წყლის (სითხის) აქტივობაა, როგორც იძლევა 780 დაშლას წუთში ლიტრზე, ანუ 1 მახე = $3,64 \cdot 10^{-10}$ კიური/ლიტრი.

ემანი. ემანი უდრის $1 \cdot 10^{-10}$ კიური/ლიტრი = 220 დაშლა/წუთში ლიტრზე.

1 ერთეული მახე უდრის 3,64 ემანს,

2 ერთეული ემანი კი = 0,275 მახეს.

2. შემოსხივების დოზა. მაიონიზებელი გამოსხივების ნივთიერებასთან ურთიერთმოქმედების დროს დახარჯული ენერგიით ისახლვრება იონიზაციის საერთო ეფექტი და, მაშასადამე, ბიოლოგიური მოქმედებაც.

შემოსხივების რაოდენობის დასადგენად საჭიროა განვსაზღვროთ ქსოვილის ან ნივთიერების მიერ მოცულობის ერთეულში შთანთქმული ენერგია. 1 სმ³-ში ნივთიერების მიერ შთანთქმულ ენერგიას შემოსხივების შთანთქმული დოზა ეწოდება; 1 სმ³-ში ქსოვილის მიერ შთანთქმულ ენერგიას ქსოვილის დოზა ეწოდება. ამრიგად, მოცულობის ერთეულში ქსოვილის ან ნივთიერების მიერ შთანთქმულ ენერგიას უე მ ო ს ხ ი ვ ე ბ ი ს დ ო ზ ა ეწოდება.

დოზა იზომება იმ იონიზებულ ატომთა რაოდენობით, რომლებიც გამოსხივების ზემოქმედებით წარმოიქმნება ნივთიერების ერთეულ მოცულობაში.

3. დოზის ერთეულები. რენტგენი (r). რენტგენი ეწოდება რენტგენისა და გამა-გამოსხივების ისეთ დოზას, რომელიც 1 სმ³ ანუ 0,001293 გრამ მშრალ ჰაერში ნული გრადუსისა და 760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის პირობებში წარმოქმნის იონთა ისეთ რაოდენობას, რომელთა მუხტების ჯამიც იძლევა ერთ ელექტროსტატიკურ ერთეულს. ცნობილია, რომ ერთი იონის მუხტი უდრის 4,8 · 10⁻¹⁰ ელექტროსტატიკურ ერთეულს. მაშასადამე, ერთი ელექტროსტატიკური ერთეულის დაგროვებისათვის საჭიროა იონთა შემდეგი რაოდენობა:

$$N = \frac{1}{4,8 \cdot 10^{-10}} = \frac{10^{10}}{4,8} = 2,08 \cdot 10^9 \text{ წყვილი}$$

იონები 1 სმ³ ჰაერში.

მაშასადამე, რენტგენი არის რენტგენის სხივების ან გამა-გამოსხივების ისეთი რაოდენობა, რომელიც ნული გრადუსისა და 760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის პირობებში 1 სმ³ მშრალ ჰაერში წარმოქმნის 2,08 მილიარდ (2,08 · 10⁹) წყვილი იონს.

რენტგენი შედარებით დიდი ერთეულია. ამიტომ დოზის საზომ ერთეულად პრაქტიკაში უფრო გამოყენებულია რენტგენიდან წარმოებული დოზის საზომი ერთეულები, როგორცაა მილირენტგენი (mr) და მიკრორენტგენი (μr).

მილირენტგენი — რენტგენის მეთასედი ნაწილია, ე. ი. წარმოქმნის 2,08 · 10⁶ წყვილ იონს.

მიკრორენტგენი — რენტგენის მემილიონედი ნაწილია, ე. ი. წარმოქმნის 2,08 · 10³ წყვილ იონს.

$$1r = 10^3 mr = 10^6 \mu r;$$

$$1\mu r = 10^{-3} mr = 10^{-6} r.$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ნორმალურ პირობებში (ე. ი. ნული გრადუსისა და 760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის პირობებში) 1 სმ³ მშრალი ჰაერი იწონის 0,001293 გრამს, ხოლო 0,001293 გრამთან შედარებით 1 გრამის წონა 773-ჯერ მეტია. ამიტომ 1 გრამ მშრალ ჰაერში იმავე პირობებში 773-ჯერ მეტი წყვილი იონი წარმოიქმნება, ვიდრე 1 სმ³ ჰაერში, ე. ი. 2,08 · 10⁹ · 773 = 1,61 · 10¹² წყვილი იონი, რადგან წყვილი იონის წარმოქმნისათვის იხარჯება 33 ელექტრონვოლტი ენერ-

გია, ერთი ელექტრონვოლტი კი უდრის $1,6 \cdot 10^{-12}$ ერგს. ამ მონაცემების მიხედვით, 1 სმ³ ჰაერის მიერ 1 რენტგენი დოზის მოქმედების შედეგად შთანთქმული ენერგია შეადგენს:

$2,08 \cdot 10^9 \cdot 33,1,6 \cdot 10^{-12} = 0,11$ ერგს 1 სმ³ ჰაერში, ხოლო ყოველი თითო გრამი ჰაერის მიერ შთანთქმული ენერგია კი ტოლი იქნება:

$$1,61 \cdot 10^{12} \cdot 33,1,6 \cdot 10^{-12} = 85 \text{ ერგს გრამ ჰაერში.}$$

დასხივების ერთსა და იმავე პირობებში ერთი გრამი ჰაერის მიერ შთანთქმული ენერგია პრაქტიკულად ერთი გრამი რბილი ბიოლოგიური ქსოვილის მიერ შთანთქმული ენერგიის ტოლია და დაახლოებით უდრის 87—93 ერგს. ამის გამო მშრალი ჰაერის მიერ შთანთქმული მაიონიზებული გამოსხივების ენერგიის გაზომვით შეეგვიძლია საკმაოდ ზუსტად დავადგინოთ ქსოვილის მიერ შთანთქმული ენერგია. ამის გამო ისიც, რომ მშრალ ჰაერში მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედება მიღებულია დოზის ერთეულად. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ერგი, როგორც ენერგიის ზომის ერთეული, ძალან მცირეა. მაგალითად, 93 ერგი ენერგია იმ ენერგიის ეკვივალენტურია, რომელიც საჭიროა 1 გრამ ნივთიერების 0,5 მმ სიმაღლეზე აწევისათვის, ანუ 1 გრამ ნივთიერებას 0,000001°C გრადუსამდე გათბობისათვის.

დასხივების დროსთან გამოსხივების დოზის შეფარდებას დოზის სიმძლავრე ეწოდება.

$$P = \frac{D}{t} \text{ ერგი/გრამ წამში,}$$

სადაც P დოზის სიმძლავრეა;

D—გამოსხივების დოზა;

t—დასხივების დრო.

დოზის სიმძლავრის ერთეულებია:

რენტგენ/საათი, რენტგენ/წუთი, მილირენტგენ/საათი, მილირენტგენ/წუთი, მიკრორენტგენ/საათი, მიკრორენტგენ/წუთი, მიკრორენტგენ/წამი (ე. წ. „გამებში“) და. შ.

გამოსხივების ინტენსიურობა. ზედაპირის ერთეულ ფართობზე პერპენდიკულარულად მოქმედ სხივთა კონის გამავალ ენერგიის რაოდენობას დროის ერთეულში ინტენსიურობა ეწოდება.

გამოსხივების ინტენსიურობის საზომი ერთეულებია:

მევ/სმ² წამი, ერგი/სმ² წამი, ვატი/სმ².

დოზის სიმძლავრე P-სა და გამოსხივების ინტენსიურობა J-ს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$P = J \cdot \text{მევ/სმ}^2 \text{ წამში} = \frac{J \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}}{0,11} \text{ რენტგენ/წამი,}$$

სადაც \dot{Y} დასახელებულ ჰაერის მიერ გამოსხივების შთანქმის ხაზო-
ვანი კოეფიციენტია.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, დოზის ერთეული რენტგენი მიღებუ-
ლია რენტგენისა და გამა-გამოსხივებისათვის, ზოლო ალფა- და ბეტა-
ნაწილაკების, პროტონებისა და ნეიტრონებისათვის შემოღებულ იქნა
ფიზიკური რენტგენ-ეკვივალენტი ფრე (ФЭР ანუ
rep).

1 ფრე უდრის მაიონიზებული გამოსხივების ისეთ რაოდენობას,
რომელიც ეთანადება 93 ერგი ენერჯიის შთანქმისა 1 გრამ ქსოვილზე,
ანუ იგი უდრის ისეთ შთანქმულ ენერჯიას, რომელიც 1 სმ³ მშრალ
ჰაერში წარმოქმნის 2,08·10⁹ წყვილ იონს. ამრიგად, ფიზიკური
რენტგენ-ეკვივალენტი ეწოდება გამოსხივების
ისეთ დოზას, რომელიც 1 გრამ ქსოვილის მიერ
შთანქმისას იწვევს რენტგენისა და გამა-გამო-
სხივების 1 რენტგენი დოზის ეკვივალენტურ
მოქმედებას.

1953 წლიდან შთანქმული დოზის ერთეულად ფრეს ნაცე-
ლად მიღებულია რად¹ (pag ანუ rad).

რად-ი ეწოდება ყველა სახის მაიონიზებული
გამოსხივების ისეთ დოზას, რომელიც ეთანა-
დება 1 გრამ ქსოვილის ან ნებისმიერი სხვა 1
გრამ ნივთიერების მიერ 100 ერგი ენერჯიის
შთანქმისას.

მილირადი (mrad) — რადის მეთასედი ნაწილია.

ბიოლოგიური რენტგენ-ეკვივალენტი ბრე (БЭР
ანუ rem) ეწოდება ყველა სახის მაიონიზებული გა-
მოსხივების ისეთ დოზას, რომელიც ცოცხალ ორ-
განიზმში ისეთსავე ბიოლოგიურ ეფექტს იწ-
ვევს, როგორსაც რენტგენის ან გამა-გამოსხი-
ვების ერთი რენტგენის რაოდენობის დოზა.

მილიბრე (mrem) — ბრეს მეთასედი ნაწილია.

გამომდინარე ზემოთ განხილული შედარებიდან, დოზის ერთე-
ულებს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს: 1 რენტგენი=1
ფრეს=1 ბრეს=0,93 რადს; 1 რადი=1,1 რენტგენს=1,1 ფრეს=1,1
ბრეს. ჰაერის შემთხვევაში 1 რენტგენი=0,84 რადს; 1 რად = 1,19 რენ-
ტგენს.

¹ რად-ი წარმოდგება ინგლისური ცნების radiation absorbed dose-ს გამოხა-
ხელი სიტყვების პირველი ასოებისაგან.

ბიოლოგიური ეფექტი მაიონიზებული გამოსხივების ქსოვილთან ურთიერთმოქმედების შედეგად მიღებულ საერთო იონიზაციასთან ერთად დამოკიდებულია აგრეთვე იონიზაციის სიმკვრივეზეც.

რადგან ალფა-და ბეტა-ნაწილაკებიდან ქსოვილის მიერ ერთი და იგივე ენერჯის შთანქმისას პირველი გაცილებით მეტ იონიზაციის სიმკვრივეს იძლევა, ვიდრე მეორე, ამიტომ ერთი და იგივე ენერჯის შთანქმის დროს ალფა-ნაწილაკების ბიოლოგიური ეფექტი დაახლოებით 10—20-ჯერ უფრო ძლიერია, ვიდრე ბეტა-ნაწილაკებისა.

ბეტა-და გამა-გამოსხივების ბიოლოგიური ეფექტი დაახლოებით ერთნაირია.

4. რადიუმის გრამ-ეკვივალენტი. პრაქტიკაში რადიაქტიური ელემენტების რაოდენობრივი დახასიათებისათვის ხშირად მიმართავენ ე. წ. გამა-ეკვივალენტს, რომელიც იზომება რადიუმის გრამ-ეკვივალენტით.

თუ რადიაქტიური პრეპარატის გამა-გამოსხივება იძლევა დოზის ისეთსავე სიმძლავრეს, როგორსაც 0,5 მილიმეტრიანი პლატინის ფილტრში (ამპულაში) მოთავსებულ დაშლის პროდუქტებთან რადიაქტიურ წონასწორობაში მყოფი ერთსა და იმავე პირობებში გაზომილი ერთი გრამი რადიუმის გამა-გამოსხივება, ასეთი პრეპარატის გამა-ეკვივალენტი უდრის რადიუმის გრამ-ეკვივალენტს.

რადიუმის გრამ-ეკვივალენტიდან წარმოებულ ერთეულებს წარმოადგენენ რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტი და მიკროგრამ-ეკვივალენტი.

რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტი = 10^{-3} რადიუმის გამა-ეკვივალენტს (რადიუმის გრამ-ეკვივალენტს) = 10^3 რადიუმის მიკრო-გრამ-ეკვივალენტს.

მილიკიურებში გამოსახული იზოტოპის აქტივობა q-სა, გამოსხივების დოზის სიმძლავრეს P-სა და აგრეთვე იზოტოპის გამა-ეკვივალენტი m-თან კავშირის დამყარებისათვის საჭიროა მოცემული იზოტოპის გამა-მუდმივასა და რადიუმის გამა-მუდმივას KY ცოდნა.

ნებისმიერი რადიოიზოტოპის გამა-მუდმივა KY რიცხობრივად 1 მილიკიური აქტივობის მქონე მოცემული წერტილოვანი პრეპარატის გამა-გამოსხივებით გამოწვეულ დოზის სიმძლავრეს რენტგენსაათში 1 სანტიმეტრ მანძილზე. ყველა აქტიურ ნივთიერებას აქვს თავისი გამა-მუდმივა. ზოგიერთი მათგანი იხ. მე-2 ცხრილში.

რადიუმის გამა-მუდმივა (KY) რიცხობრივად უდრის 8,4 დოზის სიმძლავრეს რენტგენ/საათში, რაც იმას ნიშნავს, რომ რადიუმის პრეპარატი აქტივობით 1 მილიკიური, მოთავსებული 0,5 მილიმეტრიანი

პლატინის ფილტრში, 1 სანტიმეტრ მანძილზე 1 საათში იძლევა დოზის სიმძლავრეს 8,4 რენტგენის რაოდენობით.

ცხრილი 2

იზოტოპის სიმბოლო, მასის რიცხვი	ნახევარ დაშლის პერიოდი	გამა-კვანტის ენერგია მ ე ვ	გამა-მუდმივა K γ
Na ²⁴	15,0 სთ	1,38; 2,76	19,06
Ar ⁴¹	109 წთ	1,3	7,5
K ⁴⁰	1,27·10 ⁹ წელი	1,5	0,81
Sc ⁴⁶	84 დღე	1,12; 0,89	11,6
V ⁴⁸	16,1 დღე	1,31; 0,99	16,3
Fe ⁵⁹	45 დღე	1,28; 1,1	6,25
Co ⁶⁰	5,3 წელი	1,17; 1,33	13,5
Zn ⁶⁶	245 დღე	1,12	3
As ⁷⁶	26,8 სთ	0,559; 1,2	3,4
Rb ⁸⁶	18,7 დღე	1,12; 1,08	1,2
J ¹³¹	8 დღე	0,36	2,45
Cs ¹³⁷	30 წელი	0,662	3,55
Ce ¹⁴¹	32,5 დღე	0,15	0,38
Au ¹⁹⁸	2,7 დღე	0,67; 0,412	2,47

ზემომოყვანილი მონაცემების მიხედვით, გამა-გამოსხივების დოზა (რენტგენებში) შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნას შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$D = \frac{K\gamma \cdot q \cdot t}{R^2}, \quad (1-50)$$

სადაც D გამა-გამოსხივების დოზა რენტგენებში;

Kγ — გამა-მუდმივა;

q — პრეპარატის აქტივობა მილიკიურებში (mc);

t — დასხივების დრო საათობით

R — მანძილი სანტიმეტრობით.

გამომსხივებლის აქტივობის მიხედვით, დოზის სიმძლავრის გამოანგარიშება წარმოებს შემდეგი ფორმულით:

$$P = \frac{K\gamma \cdot q}{R^2} \text{ რენტგენ/საათი}, \quad (1-51)$$

მაგალითად, განვსაზღვროთ 3 მილიკიური აქტივობის მქონე წერტილოვანი გამომსხივებელი კობალტ-60-ის გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრე 10 სმ მანძილზე. (თუ გამომსხივებლის ხაზოვანი ზომა უდრის 1×1 სმ, პრაქტიკულად ასეთი გამომსხივებელი 5—10 სმ მანძილზე შეიძლება წერტილოვნად ჩავთვალოთ). მე-2 ცხრილიდან ⁶⁰Co₂₇-სათვის Kγ=13,5 რენტგენ/საათს. ამ მონაცემების (1—51) ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$P = \frac{13,5 \cdot 3}{100} = 0,405 \text{ რენტგენ/საათი.}$$

გამოსხივების დოზასა და აქტივობას შორის კავშირი შეიძლება დავამყაროთ იმ შემთხვევაშიც, თუ რადიაქტიური პრეპარატის აქტივობას გამოვსახავთ რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტში, ხოლო გამოსხივების დოზას რენტგენებში, მაშინ დოზის გამოანგარიშება შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$D = \frac{8,4 \cdot m \cdot t}{R^2}, \quad (1-52)$$

სადაც m პრეპარატის გამა-ეკვივალენტია, გამოსახული რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტში; 8,4 — რადიუმის გამა-მუდმივა.

დანარჩენ აღნიშვნებს იგივე მნიშვნელობა აქვთ, რაც (1—50) ფორმულაში.

აღნიშნული დამოკიდებულებიდან გამომდინარე, გამომსხივებლის აქტივობის მიხედვით, გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრე P რენტგენ/წუთებში გამოანგარიშება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$P = \frac{8,4 \cdot m}{60 \cdot R^2} = \frac{0,14 \cdot m}{R^2} \text{ რენტგენ/წუთი.} \quad (1-53)$$

მილიკიურებში გამოხატული აქტივობა q -დან, რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტში გამოხატული გამა-ეკვივალენტი m -ის განსაზღვრა, და პირიქით, შეიძლება შემდეგი ფორმულების მიხედვით:

$$m = q \cdot \frac{K_{\gamma}}{8,4} \text{ რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტი.} \quad (1-54)$$

$$q = m \cdot \frac{8,4}{K_{\gamma}} \text{ მილიკიური} \quad (1-55)$$

5. აქტივობასა და მასას შორის კავშირი. სხვადასხვა ექსპერიმენტის დროს საჭიროა ვიცოდეთ კავშირი რადიაქტიური პრეპარატის მასა გრამებში M -სა და კიურის ერთეულებში გამოხატული აქტივობა A შორის.

როგორც ვიცით, კიურებში გამოხატული პრეპარატის აქტივობა A -სა და ამავე პრეპარატის ატომთა რიცხვი N -ს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$A = \frac{\lambda N}{2,7 \cdot 10^{10}} \text{ აქტივობა კიურებში.} \quad (1-56)$$

$$\text{აქედან } N = \frac{A \cdot 3,7 \cdot 10^{10}}{\lambda} \text{ ატომების რიცხვი.} \quad (1-57).$$

ხოლო ნივთიერების მასა გრამებში M გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$M = \frac{N \cdot \alpha}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ მასა გრამებში,} \quad (1-58)$$

სადაც α მასის რიცხვია, $6,02 \cdot 10^{23}$ — ატომების რიცხვი გრამ-ატომში. (1-57) და (1-58) განტოლებებიდან მივიღებთ:

$$M = \frac{A \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot \alpha}{\lambda \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \text{ მასა გრამებში.} \quad (1-59)$$

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითები:

მაგალითი 1. გავიგოთ 1 კიური აქტივობის პოლონიუმ-210-ის წონითი რაოდენობა, თუ მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი $T = 138$ დღეს.

1) გავიგოთ, რას უდრის დაშლის მუდმივა λ ?

$$\lambda = \frac{0,693}{138 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{0,693}{1,2 \cdot 10^7} = 0,58 \cdot 10^{-7} = 5,8 \cdot 10^{-8}.$$

2) 1 კიური აქტივობის პოლონიუმ-210 რამდენ გრამს შეადგენს?

$$M = \frac{1 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 210}{5,8 \cdot 10^{-8} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{7,77 \cdot 10^{12}}{3,49 \cdot 10^{16}} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ გ.}$$

მაგალითი 2. გავიგოთ 1 მილიკიური აქტივობის იოდ-131-ის წონითი რაოდენობა.

1) გავიგოთ, რას უდრის დაშლის მუდმივა, თუ მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი $T = 8$ დღეს.

$$\lambda = \frac{0,693}{8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{0,693}{69120} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ წამს}^{-1}.$$

2) 1 მილიკიური აქტივობის იოდ-131 რამდენ გრამს იწონის?

$$M = \frac{1 \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot 131}{1 \cdot 10^{-5} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{4,847 \cdot 10^9}{6,02 \cdot 10^{18}} = 8,05 \cdot 10^{-10} \text{ გ.}$$

რადიოქიმიის მეთოდები

1. რადიქტიური ელემენტების მდგომარეობა ხსნარებში. რადი-
აქტიური ელემენტები, ახარადიქტიური (სტაბილური) ელემენტე-
ბის მსგავსად, ხსნარებში შეიძლება იმყოფებოდნენ როგორც იონურ,
ისე კოლოიდურ მდგომარეობაში ანუ, როგორც მას უწოდებენ, რადი-
ოკოლოიდურ მდგომარეობაში.

თხევად ფაზაში ჩვეულებრივად რადიოელემენტები მიკროკონცენ-
ტრული რაოდენობითაა (ძლიერ მცირეა). მაგალითად, 1 კიური აქტი-
ვობის მქონე იოდ-131-ის წონა უდრის 8.10^{-7} გ, პოლონიუმ-210-ისა
 $2.23.10^{-4}$ გ. და ა. შ. ასეთ უკიდურესად განზავებულ მდგომარეობის
გამო რადიოელემენტები ხსნარში იჩენენ გარკვეულ თავისებურებას.
ხსნარის კონცენტრაციის იმ ზღვრულ მნიშვნელობას, რომლის შემდეგ
ძლიერ განზავებულ მდგომარეობაში მყოფი გახსნილი ნივთიერება
იჩენს სპეციფიკურ თავისებურებას, 10^{-8} მოლურ რიგისაა. სწორედ
არამცთუ ასეთი განზავების, არამედ კიდევ უფრო მეტად განზავებულ
ხსნარებთან გვაქვს საქმე რადიოქიმიაში.

გამოსაკვლევ ნივთიერებას ასეთ მიკროკონცენტრაციის დროს არ
ძალუძს დამოუკიდებლად წარმოქმნას მყარი ფაზა, რისთვისაც ხსნარ-
ში შეაქვთ ეგრეთ წოდებული სარჩული ნივთიერება, ე. ი. ნივთიერე-
ბა, რომელიც ჩამოლექვისას (წაიტაცებს) გამოსაკვლევ რადიოელემენ-
ტსაც. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ის შეიძლება სულ „დაიკარგოს“, რა-
დგან რადიოელემენტი იმდენად მცირე რაოდენობით არის გახსნილი,
რომ შესაძლებელია მთლიანად იქნეს ადსორბირებული იმ მინის ჭურ-
ჭლის კედლებით, რომელშიც ასხია. ზოგჯერ კი მოულოდნელად წარ-
მოქმნის კოლოიდს, რომელიც გამოილექება გარეშე მარილების მზარ-
დი კრისტალების ჩამოლექვასთან ერთად ან რჩება ხსნარში. ამრიგად,
რადიოელემენტი, ძალზე ძლიერი განზავების მიუხედავად, შეიძლება
იყოს არა მარტო ჭეშმარიტი იონური ხსნარის სახით, არამედ რადიო-
კოლოიდური ხსნარის სახითაც. რადიოკოლოიდი წარმოიქმნება რო-

გორც ქიმიაში ცნობილი ჩვეულებრივი ხერხებით (კოაგულაცია, პეპტიზაცია და სხვ.), ისე სპეციფიკური გზით. მაგალითად, თუ თხევად ფაზაში მიმდინარე იონური რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება ნაერთი, რომლის ხსნადობის ნამრავლი ძალიან მცირეა, მაშინ თითქმის ყველა ნივთიერება კრისტალური ან ამორფული სახით გამოიყოფა. ულტრა-განზავებულ ხსნარების შემთხვევაში კი კრისტალიზაციის ცალკეული ცენტრები ვერ აწარმოებენ გაზრდას და მიკროსკოპული, კოლოიდური ზომისანი (0,1 μ -დან 1 μ -მდე სიდიდისა) რჩებიან. ასეთი ხსნარები წარმოადგენენ პოლიდისპერსულ სისტემებს, რომლებიც ხშირად არ იმყოფებიან თერმოდინამიკურ წონასწორობაში და შეიცავენ როგორც სხვადასხვა სიდიდის კოლოიდურ ნაწილაკებს, ისე მარტივი კომპონენტის იონებს. დროთა განმავლობაში ასეთი სისტემები ჩვეულებრივად ნელა იცვლებიან, ცალკეულ ნაწილაკებმა კი შეიძლება განიცადონ აგლომერაცია.

რადიოკოლოიდები თავისებურად იქცევიან. მათში ნივთიერებანი არაელექტროლიტურ მდგომარეობაში იმყოფებიან, იონურ რეაქციაში არ მონაწილეობენ, ჩვეულებრივ ფილტრში გადიან, ხსნარიდან მათი გამოყოფა ძალიან ძნელია. შემთხვევითი მიზეზის გამო ასეთი კოლოიდები მდგრადობას კარგავენ—კოაგულირდებიან, წარმოქმნილი უმცირესი თვალთუხილავი ნალექი ხსნართან სხვადასხვა ოპერაციის დროს ადვილად იკარგება.

გარდა ზემოაღნიშნულისა, შეიძლება ქვეშარითი კოლოიდური ხსნარის მსგავსი სისტემა წარმოიქმნას ე. წ. ფსევდოკოლოიდი, რომელიც ხსნარში შეტივტივებულია (შეწონილი) გარეშე მინარევებზე (მტვერი, კაჟმიწა ნაწილაკები, ალუმინის ჰიდროჟანგი და ა. შ.) რადიოელემენტების აღსორბციის შედეგად. ეს მოვლენა ძირითად როლს არ ასრულებს, მაგრამ მაინც შეუძლია შეააწმავლ სისტემაში შეიტანოს საგრანობი ცვლილებანი. თუ მხედველობაში იმასაც მივიღებთ, რომ ჩვეულებრივად ხსნარი შეიცავს ამა თუ იმ მინარევს, მაშინ ნათელია ის, თუ რა სიძნელეებთან აქვს საქმე რადიოქიმიკოსს, როდესაც უხდება ქვეშარითი კოლოიდური და ფსევდოკოლოიდური სისტემის შესწავლა. მიუხედავად ამ სიძნელეებისა, მაინც არსებობს მეთოდები, რომელთა საშუალებით განისაზღვრება რადიოელემენტების მდგომარეობა ხსნარში. ეს მეთოდებია ულტრა-ცენტრიფუგვა, ელექტროფორეზი და ელექტროდიალიზი, რადიოგრაფია და ა. შ.

მაგალითად, პროტაქტინიუმს აქვს მიდრეკილება აზოტმკავას კონცენტრულ ხსნარებში წარმოქმნას რამდენიმე მოლეკულააგან შემდგარი არაორგანული პოლიმერები. ასეთი აგრეგატები იქცევიან ისე,

როგორც კოლოიდური ნაწილაკები. ისინი იონურ და მოლეკულურ რეაქციებში არ მონაწილეობენ და არც ექსტრაჰირდებიან (არ გამოხსნარდებიან) და ა. შ.

მოცემულ სისტემაში, რადიოკოლოიდებს ბუნების შესწავლის საქმეში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რადიოელემენტის სორბციული თვისებების კოლოიდური ხსნარის წარმოქმნის ხარისხთან შედარებით მეთოდს. მაგალითად, პოლონიუმის ადსორბცია მატულობს PH 3—5-ის დიაპაზონში, ხოლო PH 6—10 დიაპაზონში კოლოიდური სისტემის მაქსიმალურ წარმოქმნას აქვს ადგილი. საერთოდ, ტუტე არეში პოლონიუმი იბლევა ჰეშმარიტ კოლოიდურ ხსნარს; ადსორბციული მოვლენები PH 6-12 დიაპაზონში გავლენას არ ახდენენ კოლოიდურ ხსნარზე.

კოლოიდური ხსნარის აღნიშნული ტიპის წარმოქმნის მიდრეკილება აქვს მთელ რიგ ნივთიერებებს. ასეთებია: რუთენიუმი, თალიუმი, პრომეთიუმი, თორიუმი, ცირკონიუმი, ნიობიუმი და სხვ... სამეცნიერო-კვლევითი თუ პრაქტიკული მუშაობისას ყოველთვის უნდა გავითვალისწინოთ ხსნარში ამა თუ იმ ელემენტის ბუნება.

2. კრისტალური ნალექების სახით რადიაქტიური მარილების გამოყოფის თეორიული საფუძველი. რადიაქტიური ელემენტების შესწავლის დაწყების დღიდან განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა უკიდურესად განზავებული ხსნარებიდან მიკრორაოდენობის რადიაქტიური მარილების გამოყოფის საკითხს. ვინაიდან რადიაქტიური მარილების მცირე კონცენტრაციის გამო ჩვეულებრივი ქიმიური მეთოდები ხსნარიდან მათი გამოყოფისათვის გამოუსადეგარი აღმოჩნდა (რადგან მათ არ ძალუძთ დამოუკიდებლად წარმოქმნან მყარი ფაზა), წინასწარ დამზადებულ ან გამოყოფის პროცესში წარმოქმნილი ნალექის მიერ რადიოელემენტების მიტაცების ხერხი იყო ერთ-ერთი პირველი მეთოდი, რომლის დახმარებით პირველად გამოყვეს მიკრორაოდენობის რადიოელემენტები ხსნარიდან, რომელსაც ფართოდ იყენებენ, აპყამადაც და დღითიდღე აუმჯობესებენ მისი გამოყენების მეთოდებს. ამ ხერხით რადიოელემენტის გამოყოფის დროს გამოყენებულია შემდეგი ტერმინოლოგია. ხსნარში მყოფ და მაკროკომპონული ნალექის მომცემ მარილს უწოდებენ მაკროკომპონენტს; ხშირად მას სარჩულ რეაქტივს ან იზომორფულ სარჩულს უწოდებენ, ხოლო რადიაქტიურ ელემენტს კი — მიკროკომპონენტს.

მაკროკომპონენტთან ერთად მიკროკომპონენტის თვისობრივად და რაოდენობრივად გამოყოფა ემყარება იმას, რომ ერთნაირი ან

სხვადასხვა ქიმიური შემადგენლობის ნივთიერებანი, რომლებიც ორი ფაზის ზღვარზე იმყოფებიან, მისწრაფვიან განაწილდნენ ისე, რომ ამ ნივთიერებათა ქიმიური პოტენციალი ორივე ფაზაში იყოს ერთნაირი. სარჩულ რეაქტივზე რადიაქტიური ელემენტის დალექვა ორი ხერხით წარმოებს:

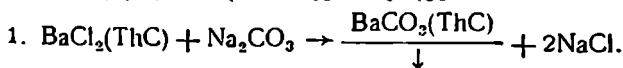
1) კრისტალური ნალექის სახით გამოყოფა, ანუ მიკრო-და მაკრო-კომპონენტები ერთად კრისტალდებიან საერთო ხსნარიდან. ამ დროს მაკროკომპონენტის ნალექის გისოსში მიკროკომპონენტი ჩაინერგება და კრისტალის მთელ მოცულობაში განაწილდება, რასაც ჰემარიტი თანდალექვა ეწოდება. ამ შემთხვევაში წარმოქმნილ კრისტალიდან რადიოელემენტის გამოყოფა შესაძლებელია მხოლოდ კრისტალის განხსნის შემდეგ სათანადო ოპერაციების ჩატარებით.

2) აღსორბციის კანონების რეგულირებადი, ზედაპირული დალექვა. ამ დროს მიკროკომპონენტი განაწილდება (დაილექება) მყარი ნივთიერების მხოლოდ ზედაპირზე, ან კიდევ კრისტალის ცალკეულ სიბრტყეზე.

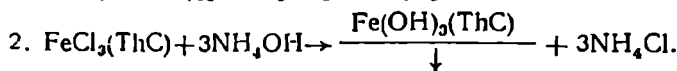
ამ მოვლენების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს რადიოქიმიის პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის საქმეში, კერძოდ, სხვადასხვა კომპონენტის შემცველი კონცენტრირებული ხსნარიდან მიკროკომპონენტის გამოყოფისა და თვით სხვადასხვა სახის მიკროკომპონენტების (რადიოელემენტების) ერთმანეთისაგან დაცილების საქმეში და ა. შ.

მაკროკომპონენტების გამოკრისტალებასთან რადიაქტიური შარილების თანადალექვის მეთოდში. მიკროკონცენტრული ხსნარიდან ელემენტების გამოყოფის ერთ-ერთ უფრო მოხერხებულ მეთოდად ითვლება მიკრო-და მაკრო-კომპონენტების ერთად გამოკრისტალება საერთო ხსნარიდან (თანაგამოკრისტალების ხერხი). ამ მეთოდის დროს ხსნარიდან მაკროკომპონენტის გამოყოფით წარმოქმნილი მყარი ფაზა მიიტაცებს რა მიკროკომპონენტს, უკანასკნელი კონცენტრირდება მყარ ფაზაში, ასეთივე მოვლენას აქვს ადგილი მაკროკომპონენტის წინასწარ დამზადებული ნალექის ხსნარში შეტანის დროსაც. მრავალი ცდის მონაცემების საფუძველზე 1933 წელს ფაიანსმა-პანეტმა მოგვცა წესი: ხსნარში იონის სახით მყოფი რადიოელემენტი მით უფრო იქნება მიტაცებული, გამოყოფილი ან წინასწარ დამზადებული და ხსნარში შეტანილი ნალექის მიერ, რაც უფრო უხსნად ნალექს წარმოქმნის იგი მაკროკომპონენტის მოპირდაპირე მუხტიან იონთან.

განვიხილოთ თანდალექვის რამდენიმე რეაქცია. მაგალითად, ბისმუტის რადიაქტიური იზოტოპი $^{212}\text{Bi}_{83}(\text{ThC})$ ილექება ბარიუმის კარბონატთან და რკინის ჰიდროქსიდთან ერთად, ხოლო ტყვიის იზოტოპი $^{210}\text{Pb}_{82}(\text{RaD})$ კი სტრონციუმის კარბონატთან ან სულფატთან ერთად წარმოქმნის ძნელად ხსნად მარილებს შემდეგი სახით:

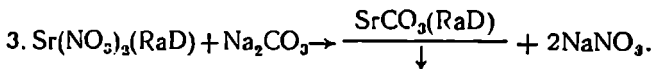


BaCO_3 წარმოადგენს მაკროკომპონენტს.



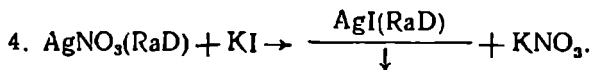
აქ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ წარმოადგენს მაკროკომპონენტს.

ტყვიის იზოტოპის შემთხვევაში გვექნება:



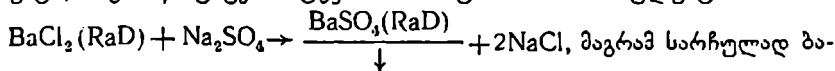
აქ SrCO_3 წარმოადგენს მაკროკომპონენტს.

შეიძლება მოვიყვანოთ სხვა მაგალითიც, კერძოდ, ვერცხლის ნიტრატთან წარმოქმნილი ვერცხლის იოდოდი მიიტაცებს ტყვიის იზოტოპს:



ამ შემთხვევაში AgI წარმოადგენს მაკროკომპონენტს.

პირველ და მეორე რეაქციაში Bi_2CO_3 და $\text{Bi}(\text{OH})_3$, ხოლო მესამე და მეოთხე რეაქციაში PbCO_3 და PbI_2 ძნელად ხსნადი მარილებია და სარჩულ რეაქტივთან (მაკროკომპონენტთან) ერთად ილექებიან. მრავალი ფაქტიური მასალით დადასტურდა ფაიანს-პონეტის წესი, მაგრამ გამოწკლისებაც არ არის გამოიკვნილი. მაგალითად, ტყვიის იზოტოპი $^{212}\text{Pb}_{82}(\text{ThB})$ არ გამოილექება Hg_2I_2 -თან ერთად, AgI -თან კი გამოილექება, მიუხედავად იმისა, რომ წარმოქმნილი ტყვიის იოდოდი ძნელად ხსნადი ზარილია. გარდა ამისა, თუ სარჩულად ავიღებთ ბარიუმის სულფატს, იგი წაიტაცებს ტყვიის იზოტოპს მისი სულფატის სახით



რიუმ-სულფატის ნაცვლად თუ კალციუმის სულფატს ავიღებთ, მაშინ ტყვიის იზოტოპი არ გამოილექება კალციუმის სულფატთან ერთად, მიუხედავად იმისა, რომ ორივე შემთხვევაში უნდა წარმოიქმნას ძნელად ხსნადი ტყვიის სულფატი. ამასთან დაკავშირებით ვ. ხლოპინმა 1924 წელს, ო. ხანმა და სხვებმა გამოთქვეს აზრი იმის შესახებ, რომ თანდალე-

ქვისას დიდ როლს ასრულებს იზომორფიზმი, ე. ი. მოვლენა, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ ზოგიერთი ნივთიერება, რომელთაც სხვადასხვა შედგენილობა აქვთ, მაგრამ ჰიმიური ბუნებით ახლო დგანან ერთმანეთთან, ერთნაირი ფორმის კრისტალებს წარმოქმნიან და შეუძლიათ დაკრისტალდნა საერთო კრისტალურ გისოსში. ე. ხლოპინი გულისხმობდა ჰომოგენური (კრისტალის მთელ მოცულობაში) და ჰეტეროგენული (ზედაპირული) მიტაცების პროცესს. ჰომოგენური მიტაცების წესი ო. ხანმა 1926 წელს ასე ჩამოაყალიბა: ჰომოგენური თანადალექციონსათვის აუცილებელი და საკმარისი პირობაა იონების უნარი საერთო კრისტალურ გისოსში გამოკრისტალდებისას შერეული კრისტალების უწყვეტი რიგის მოცემა. ჩვეულებრივ იზომორფულად ითვლებიან მარილები, რომელთა მოლეკულური აღნაგობა ერთსახეობანია (საკორდინაციო რიცხვი თანაბარია) და შემადგენელ იონებსაც დაახლოებით თანაბარი რადიუსები აქვთ. აქედან გამომდინარე, ზემოთ გაჩილული ცყვის $^{210}\text{Pb}_{82}(\text{RaD})$ იონისათვის ბარიუმის სულფატი იზომორფული სარჩულია, მაშასადამე, BaSO_4 და RaDSO_4 იზომორფული მარილებია, ხოლო CaSO_4 და RaDSO_4 არაიზომორფული მარილებია და ამიტომ CaSO_4 არ მიიტაცებს RaDSO_4 , ხოლო BaSO_4 კი მას მოიტაცებს და ერთად კრისტალდებიან.

იზომორფულ თანადალექციის მოვლენის ერთ-ერთ კერძო შემთხვევას წარმოადგენს იზორდიმორფიზმი. იზორდიმორფიზმია ისეთი მოვლენა, რომლის დროს ორი ნივთიერება, რომლებიც ცალ-ცალკე კრისტალდებიან სხვადასხვა სახის კრისტალური გისოსის მოცემით, საერთო ხსნარიდან კი ერთად კრისტალდებიან, ისე რომ, ყოველი კრისტალი იმავე მარილებს შეიცავს ისეთი ფართობით, როგორცაა ხსნარში, ე. ი. იძლევიან შერეულ კრისტალებს, მაგალითად BaCl_2 -სა და PbCl_2 -ს. ბარიუმის ქლორიდი წყლის მოლეკულასთან ერთად კრისტალდება მონოკლინური კრისტალის სახით, ტყვიის ქლორიდი კი უწყლოდ რომბული გისოსის მოცემით. მიუხედავად ამისა, მათ შეუძლიათ ერთად გამოკრისტალდნა საერთო ხსნარიდან შერეული კრისტალის მოცემით, რა დროსაც PbCl_2 -ის ზედა ზღვარს წარმოადგენს $\approx 0,1\%$ (მოლ). იზორდიმორფიზმის სხვა მაგალითს წარმოადგენენ RaDCO_3 (რომბული გისოსი) და CaCO_3 (ტრიგონალური რომბოედრული გისოსი-კალციტი). ასეთი ნარევი რომბული აღნაგობის — არაგონიტის აღნაგობის კრისტალს წარმოქმნის. ამრიგად, ფაიანს-პანეტის წესი მხოლოდ მიახლოებით პასუხს იძლევა დასმულ კითხვაზე.

იზომორფული თანადალექვის პროცესის რაოდენობრივი მხარე განსაზღვრულია ვ. ხლოპინისა და მისი სკოლის წარმომადგენელთა შრომებში. ვ. ხლოპინმა მოგვცა კანონი: თუ ორი თანადაკრისტალები უნარის მქონე ნივთიერება იზომორფულია, მაშინ განზავებულ მყარ ხსნარსა (მიკროკომპონენტიანი კრისტალი) და განზავებულ თხევად ხსნარებს შორის შეიძლება დამყარდეს ქეშმარიტი თერმოდინამიკური წონასწორობა, რა დროსაც მყარ და თხევად ფაზებში ორის მიკროკომპონენტი ბერტლო-ნერნსტის კანონის თანახმად განაწილდება, ორი შეუარევადი სითხისათვის მოცემული მისი მარტივი ფორმის მიხედვით.

თავიანთ პირველ შრომებში ვ. ხლოპინი და მისი მოწაფეები განაწილების K_N მუდმივას (ე. წ. ნერნსტის მუდმივას) საზღვრავდნენ შემდეგი ფორმულით:

$$K_N = \frac{xd_1}{m} : \frac{(1-x)d_0}{g}, \quad (2-1)$$

სადაც m მყარი კრისტალური ფაზის წონაა;

g —თხევადი ფაზის წონა;

d_0 და d_1 —მყარი და თხევადი ფაზის სიკვრივე;

x —მყარ ფაზაში გადასული მიკროკომპონენტის წილი;

$1-x$ —თხევადი ფაზაში დარჩენილი, მიკროკომპონენტის წილი.

ან კიდევ ნერსტის K_N მუდმივა გაიანგარიშება ასე:

$$K_N = \frac{C_{kp}}{C_p}, \quad (2-2)$$

სადაც C_{kp} კრისტალში მიკროკომპონენტის წონასწორული კონცენტრაციაა მოცულობის ერთეულზე;

C_p —ხსნარში მიკროკომპონენტის წონასწორული კონცენტრაციაა მოცულობის ერთეულზე.

თუ ხსნარის შემცველობაშია შერეული კრისტალების მომცემი რამდენიმე მიკროკომპონენტი, მაშინ ფაზებს შორის თითოეული მათგანი ისე განაწილდება, რომ თითქოს მხოლოდ ის მარტო იმყოფებოდეს ხსნარში. ასეთ და სხვა შემთხვევებში ექსპერიმენტული მონაცემების გაანგარიშებისათვის უფრო მოხერხებული აღმოჩნდა ლ. ჰენდერსონისა და ფ. კრეჩეკის მიერ მოცემული ფორმულა:

$$D = \frac{x}{y} : \frac{a-x}{b-y}, \quad (2-3)$$

$$D = \frac{x(b-y)}{y(a-x)},$$

ან კიდევ $D = \frac{x}{y} \cdot \frac{1-y}{1-x},$

სადაც x და y კრისტალურ ფაზაში გადასული მაკრო-და მიკრო-კომპონენტის რაოდენობაა;

a და b — მაკრო-და მიკროკომპონენტების საწყისი რაოდენობა სისტემაში;

D — კრისტალიზაციის კოეფიციენტი; იგი მუდმივია მოცემული ტემპერატურის, წნევისა და ფაზების შემადგენლობის პირობებში.

კრისტალიზაციის კოეფიციენტი D -ს მუდმივობა დატულია, ფაზებს შორის განაწილებული კომპონენტის კონცენტრაცია თუ არ აღემატება 10^{-2} მოლ-ს. ამ ზღურბლზე მაღალი კონცენტრაციის დროს წარმოიქმნება სხვადასხვა ნივთიერებათა კრისტალების ნარევი.

ფაზათა ზედმიწვი თანაფარდობის დროს, როცა $D > 1$ მიკროკომპონენტი გადადის ნალექში, თუ $D = 1$, მიკროკომპონენტი თანაბრად ნაწილდება ხსნარსა და ნალექს შორის, მოცემული ელემენტის ყოველი იზოტოპისათვის, ხოლო თუ $D < 1$, მაშინ თხევადი ფაზის გამდიდრებას აქვს ადგილი, ე. ი. მიკროკომპონენტი ნალექიდან ხსნარში გადადის. (2—2) და (2—3) განტოლებიდან ადვილია იმის დაწახვა, რომ განაწილების K_N მუდმივასა და კრისტალიზაციის კოეფიციენტ D -ს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

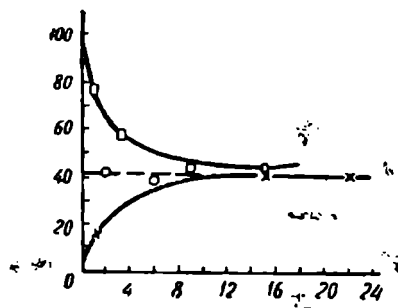
$$D = K_N \frac{C_1}{d_0} \quad (2-4)$$

სადაც C_1 წონასწორულ ხსნარში მაკროკომპონენტის კონცენტრაციაა; d_0 — კრისტალის (მყარი ფაზის) სიმკვრივე.

აღსანიშნავია, რომ სხვა თანაბარ პირობებში მაკრო- და მიკროკომპონენტით მადლარ ხსნარში D დამოკიდებულია მაკრო- და მიკრო-კომპონენტების აქტივობის თანაფარდობასთან, ე. ი. არაპირდაპირ გამოსაკვლევი მარილების ხსნადობაზე. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ორი იზომორფული ნარევიდან კრისტალზე (მყარ ფაზაზე) მეტად კონცენტრირდება ის მარილი, რომელიც უფრო ნაკლებად ხსნადია. მაგრამ თუ მათ ხსნადობას შორის დაახლოებით 100-ჯერ მეტი განსხვავებაა, მაშინ, იზომორფიზმის მიუხედავად, შეიძლება მივიღოთ ძნელად ხსნადი მარილების სუფთა მყარი ფაზა, ე. ი. შედარებით ხსნადი მარილი სულ არ გამოიყოფა კრისტალზე.

აღსანიშნავია ისიც, რომ კომპლექსწარმოქმნელთა დამატებამ შეიძლება შეცვალოს თანადალექვის მთელი პროცესი.

გარდა აღნიშნულისა, მას შემდეგ, რაც ნალექმა უკვე მიიტაცა გარკვეული რაოდენობის მიკროკომპონენტი, ნალექსა და ხსნარს შორის თერმოდინამიკური წონასწორობის დამყარებაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს გადაკრისტალება. მიკროკომპონენტის კრისტალის მთელ მასაში განაწილება, ე. ხლოპინის წესის თანახმად, წარმოებს ასე: დამეტნაჯერ ხსნარში მიკროკომპონენტის უმცირესი სიდიდის კრისტალების (სუბმიკრონის) წარმოქმნისთანავე, ინტენსიური მორევით ხსნიან მას, სუბმიკრონ კრისტალებს ხელახლა წარმოქმნიან. ისევ განხიანიან და ა. შ. ამ პროცესს მრავალგზის იმეორებენ. შემდეგ კი კრისტალს თანდათან ზრდიან. ასე აღწევენ მიკროკომპონენტის კრისტალის მთელ მასაში განაწილებას. ნალექსა და ხსნარს შორის თერმოდინამიკური წონასწორობა შეიძლება დამყარდეს აგრეთვე იმ შემთხვევაშიც, როცა იგი თავდაპირველად არ შეიცავს მიკროკომპონენტს. ამ დროს, ხსნარის ხანგრძლივი მორევისას, ხსნარში შეყვანილი მიკროკომპონენტის ახალ-ახალი ულუფები შეხებაში მოდიან ნალექთან და ამ გზით მიკროკომპონენტი თანდათან დიფუნდირდება კრისტალებზე. თუ გვაქვს პოლიდისპერსიული ნალექი (რომელთანაც ნამდვილად გვექნება საქ-



ნახ. 21. შერეულ კრისტალსა და ხსნარს შორის წონასწორობის დამყარების სქემა.

მე), მაშინ დიფუზიის გარდა ადგილი აქვს გადაკრისტალების პროცესს, რაც გამოწვეულია უმცირესი სიდიდის კრისტალების გახსნითა და დიდი კრისტალების გაზრდით; ამასთან კრისტალის ცალკეული წახნაკიდან ადგილი აქვს ნივთიერების გადატანას. თხევად დამყარ ფაზებს შორის წონასწორობის დამყარების ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე აგებულია 21-ე ნახაზი.

21-ე ნახ.-ის ზედა სქემა გვიჩვენებს იმ შემთხვევას, როცა მთელი

რადიკტიური ელემენტი ხსნარშია, ე. ი. ნალექი მიკროკომპონენტს არ შეიცავს; ქვედა კი, როცა რადიკტიური ელემენტი მთლიანად გადასულია ნალექში; შუა კი გვიჩვენებს დამეტნაჯერ ხსნარში პატარა (ციცქნა) კრისტალების წარმოქმნის მომენტში თხევადი ფაზის ინტენსიური მორევით მიღწეული მიკროკომპონენტის განაწილებას მთელ მასაში.

ცდებით დადგინდა, რომ რადიოაქტიური ელემენტების ხსნარში მდგომარეობის საბოლოო შედეგი არ არის დამოკიდებული მისი მიღწევის ხერხზე, არამედ დამოკიდებულია მხოლოდ მაკრო- და მიკროკომპონენტის საერთო რაოდენობის თანაფარდობაზე სისტემაში.

თანადალექვის პროცესს სხვა მიდგომითაც იხილავენ, კერძოდ, ზრდადი კრისტალი, დროის ყოველ მონაკვეთში გარემომცველ ხსნართან წონასწორულ მდგომარეობაშია, ე. ი. ხსნართან წონასწორულ მდგომარეობაში იმყოფება არა მთელი კრისტალი თავისი მოცულობით, არამედ მხოლოდ მისი ზედაპირი. ასეთ წარმოდგენის საფუძველზე დერნერი და ხოსკინის მიერ მოცემული საბოლოო ფორმულა შედეგი საჩისაა:

$$\log \frac{a}{a-x} = \lambda \log \frac{b}{b-y} \quad (2-5)$$

აღნიშვნებს იგივე მნიშვნელობა აქვთ, რაც (?—3) განტოლებაში ჰქონდა. როცა $\lambda > 1$ მიკროკომპონენტი გადადის ნალექში, თუ $\lambda < 1$ —ხსნარში, ე. ი. ნალექის გამდიდრებას ადგილი არა აქვს.

დერნერი და ხოსკინის ლოგარითული კანონი მაშინაა ძალაში, როდესაც კრისტალები წარმოქმნილია მორევის გარეშე, ხსნარის გადამეტანაჯერების ნელ-ნელა მოცილების ხერხით, მაგალითად, მაძლარი ხსნარის ჰაერზე აორთქლებით. როგორც (2—5) განტოლების განმარტებიდან (მისი საფუძველებიდან) ჩანს, ასეთ პირობებში გაზრდილი კრისტალი ბოლქვისებრ შრეებისაგან (ფენებისაგან) იქნება შედგენილი. შრეების ცენტრიდან (კრისტალის ცენტრიდან) პერიფერიისაკენ გადასვლისას თანდათანობით შემცირდება მიკროკომპონენტი. ასეთი კრისტალის შიგა შრე და ხსნარი წონასწორულ მდგომარეობაში იქნება, მაგრამ კრისტალის ზედაპირი და ხსნარი კი — არა, ე. ი. საქმე გვაქვს იმ სევედოწონასწორულ მდგომარეობასთან. ბუნებრივია, რომ ხსნარის ხანგრძლივი მორევის შემთხვევაში ბოლქვანი კრისტალის მთელ მოცულობაში ჰომოგენურად ნაწილდება მიკროკომპონენტი. ამრიგად, მიკროკომპონენტის კრისტალში განაწილების ხასიათი დამოკიდებულია კრისტალიზაციის პირობებზე. მაძლარი ხსნარის ბუნებრივი კრისტალიზაციისას მიიღება ჰეტეროგენული კრისტალები, ხოლო მორევით გადაკრისტალებისას კი — ჰომოგენური.

განსაკუთრებით ხაზი უნდა გაესვას იმას, რომ ხლოპინის აღნიშნული კანონი რადიოქიმიის ჩარჩოებს სცილდება და მოიცავს ქიმიის ანალიზურ, პრეპარატულ, არაორგანულ და სხვა განხრებს.

რადიოქიმიის თანადალექვის მეთოდით ვალწევთ არა მხოლოდ მკირე რაოდენობის რადიოელემენტების კონცენტრირებას მკირე მო-

ცულობის მყარ ფაზაში გადაყვანით, არამედ ვაღწევთ ელემენტის ზოგერთი თვისების გამოკვლევასაც. მაგალითად, თუ მტკიცედ დავადგინეთ ის, რომ იზომორფულ თანადალექვასთან გვაქვს საქმე, ამით კი ირკვევა ისიც, რომ მაკრო- და მიკროკომპონენტების იონების რადიუსები თითქმის ტოლია, მათი იონების მუხტი ერთი და იგივეა (ე. ი. განსაზღვრულია ვალენტოვნება), მაკროკომპონენტის ნაერთის თვისებებისა და შემადგენლობის მქონე იქნება თვით რადიოელემენტის ნაერთიც და ა. შ.

8. ანომალური წარმონაქმი. შერეული კრისტალები. ზოგჯერ შერეული კრისტალები წარმოიქმნებიან ქეშმარიტი იზომორფიზმის არარსებობის შემთხვევაშიც. ამის მაგალითს წარმოადგენს რადიოაქტიური ტყვიის $^{212}\text{Pb}_{82}(\text{ThB})$ იზოტოპის ტუტე ლითონების ჰალოგენებთან კრისტალიზაცია, რა დროსაც $D \cong 60$. ხლოპინის კანონი ამ შემთხვევაში დაცულია, მაგრამ გისოსში ტყვია-212-ის ზღვრული კონცენტრაცია დაბალია. სუფრის მარილის (NaCl) გისოსში ჩანერგვის შემთხვევაში იგი $\cong 10^{-3} \%$ (წოლ). ამის მიზეზია სუფრის მარილის გისოსში რადიოაქტიური ტყვიის იზოტოპის სუფთა სტატისტიკური მიტაცება. ამ დროს ადგილი აქვს სუფრის მარილის კრისტალის გისოსის შეცვლას (დამახინჯებას). ამას იწვევს ერთვალენტიანი იონის ორვალენტთან იონით (Pb^{2+}) ჩანაცვლება. გისოსის ასეთ დამახინჯებათა რაოდენობა არ შეიძლება ბევრი იყოს, რადგან არსებობს ე. წ. „ხსნადობის ზედა ზღვარი“, რაც იმის გამომხატველია, რომ კრისტალში მიკროკომპონენტის მაქსიმალური რაოდენობა უკვე ჩანერგილია და მასზე მეტს კრისტალი ვერ მიიტაცებს.

ანომალური დაკრისტალების სხვა მაგალითს წარმოადგენს გრომოვის შერეული კრისტალები, სახელდობრ: CaCO_3 , NaNO_3 , BaSO_4 — KMnO_4 , KClO_4 — PbSO_4 და ასე შემდეგ. ამ სისტემის მუხტისა და მისი რადიუსის სხვადასხვაობის მიუხედავად ერთობლივი კრისტალური გისოსის წარმოქმნა დაკავშირებულია კათიონების თვისებების კომპენსირებით, შესაბამისი ანიონების თვისებებით. ასეთი სისტემების განსაზღვრელია „ხსნადობის ქვედა ზღვარი“, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ გარკვეული კონცენტრაციის ქვემოთ გრომოვის შერეული კრისტალები არ წარმოიქმნებიან. აღმოჩნდა, რომ ასეთ სისტემაში მიკროკომპონენტი შეიძლება მიიტაცოს მხოლოდ გისოსის ცალკეულმა წახნაკმა, რითაც წარმოებს მიკროკომპონენტით გისოსის შევსება. ამრიგად, კრისტალი მიღებულია სუფთა სახის ცალკეული კომპონენტების ბლოკების მოზაიკური შენებით. აქედან ნათელია „ხსნადობის ქვედა ზღვრის“ არსებობის აუცილებლობა მსგავს შემ-

თხევებში. თუ მიკროკომპონენტი საკმარისი არ არის კრისტალების ცალკეული ბლოკების აგებისათვის, მაშინ მიკროკომპონენტი მზარდი ნალექის მიერ არ იქნება მიტაცებული, ადგილი ექნება ანომალურ წარმოქმნებს. შერეულ კრისტალებს შეიძლება მივაკუთვნოთ შიგადასორბციული სისტემები, რომლებიც წარმოიქმნებიან კრისტალის ზედაპირულ ფორმებსა და კაპილარებში მიკროკომპონენტის ადსორბირებით. გარეგნულად ის ჩვეულებრივ თანადალექვას მოგვაგონებს.

იმის მავალითს წარმოადგენს: $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{RaSO}_4$; $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{ThBSO}_4$ და ა. შ. Na_2SO_4 -ით და Ra -ით წარმოქმნილი კრისტალის შლიფის სურათი გვიჩვენებს მიკროკომპონენტის არათანაბარ განაწილებას.

აღსანიშნავია, რომ საბჭოთა მეცნიერების მონაცემებით არსებობს აგრეთვე ანომალური შერეული კრისტალები ხსნადობის ქვედა ზღვრის უქონლად. ასეთებია $\text{PbC}_2\text{O}_4 - [\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3] - \text{H}_2\text{O}$; $\text{U}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 - [\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3] - \text{H}_2\text{O}$; $\text{K}_2\text{SO}_4 - [\text{M}_2(\text{SO}_4)_3] - \text{H}_2\text{O}$, სადაც $\text{M} - \text{Ce}^{3+}$, La^{3+} , Am^{3+} და სხვა სისტემები.

ამრიგად, რადიოქიმიისათვის დიდ ინტერესს წარმოადგენს ანომალური წარმონაქმი სისტემების შერეული კრისტალების შესწავლა.

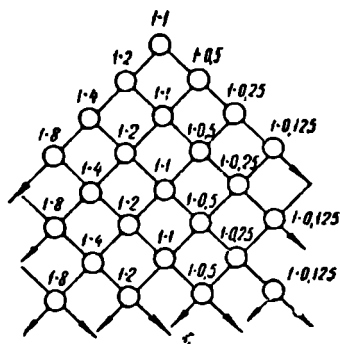
4. წილადური კრისტალიზაცია. რადიოელემენტების უმცირესი რაოდენობის ნარევების ერთმანეთისაგან დაცილებისა და ამოწვილის საქმეში იზომორფული თანდალექვის პროცესმა პრაქტიკული გამოყენება სწორედ წილადური დაკრისტალების განხორციელებით მოიპოვა. წილადური კრისტალიზაცია ასე მიმდინარეობს: 1) გამოსაკვლევ მარილს ხსნიან ცხელ ხსნარში, 2) ხსნარის თანდათანობითი გაცივებით მასში შემცველ მიკრო-და მაკროკომპონენტებს გამოაკრისტალებენ. 3) გამოყოფილ კრისტალებს და თხევად ფაზას ერთმანეთისაგან აცილებენ.

ვთქვათ, პირველ საფეხურზე მიკროკომპონენტი ამლიდრებს მყარ ფაზას (კონცენტრატს), ხოლო ხსნარი (ნარჩენები) ღარიბდება. მეორე საფეხურზე ნარჩენები ხელახლა გაიყოფა მყარ და თხევად ფაზებად, კონცენტრატის იხსნება და ხელახლა წარმოებს კრისტალიზაცია, რის შედეგად მიიღება უფრო გამდიდრებული კონცენტრატი და გაღარიბებული თხევადი ფაზა, და ა. შ. წილადური კრისტალიზაციის პროცესისათვის დამახასიათებელია კონცენტრატის გამდიდრების პირველი სა-

ფეხურის კოეფიციენტი $a = \frac{x/y}{a/b}$ და ფაზათა გაყოფის კოეფიციენტი $K = \frac{y}{b - y}$. წილადური კონცენტრაციის უმარტივესი სქემა. როგორც ეს ნახ.

22-დან ჩანს, აგებულია ისე, რომ პროცესის ზრდასთან ერთად სხვადასხვა

ფრაქციის რიცხვი მინიმალურად მატულობდეს. ეს დაცულია მხოლოდ მაშინ, როდესაც ნარჩენების ფარლობითი გალარებებისა და კონცენტრატის ფარლობითი გამდიდრების კოეფიციენტი α ერთმანეთის ტოლი იქნება. ასეთ შემთხვევაში, როგორც ნახაზიდან ჩანს, მეორადი გა-



ნ.ხ. 22. რადიუმისა და ბარიუმის ქლორიდების წილადური კრისტალიზაციის სქემა

კონცენტრატის გამდიდრების კოეფიციენტი α -სა და ფაზათა გაყოფის კოეფიციენტი K შორის, ერთი მხრივ, და, მეორე მხრივ, კრისტალიზაციის კოეფიციენტი D შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$a = \sqrt{D} \quad \text{ხოლო} \quad K = \frac{1}{\sqrt{D}} \quad (2-6)$$

ნახ. 22-ზე მოცემულ შემთხვევაში $D=4$, მაშინ კრისტალის სახით თითოეულ საფეხურზე გამოიყოფა სარჩული $1/3$, ხოლო $2/3$ კი იგზავნება ნარჩენებში.

მარია კიურიმ წილადური კრისტალიზაციის ხერხით პირველმა მიიღო $BaCl_2$ -ის სარჩულზე $RaCl_2$ -ის გამდიდრებული კონცენტრატი.

5. კრისტალურ ნალექის ზედაპირზე რადიაქტიური ელემენტების აღსორბცია. რადიოქიმიამი აღსორბციულ პროცესებს, კერძოდ რადიაქტიური ელემენტების ხსნარიდან ამოწვილვისა და წინასწარ დამზადებული ან კრისტალიზაციის პროცესში წარმოქმნილი მცირე მოცულობის მყარ კრისტალურ აღსორბენტზე აღსორბირების პროცესს მათი კონცენტრირებისათვის აქვს დიდი მნიშვნელობა.

რადიოელემენტების კრისტალურ ადსორბენტებზე ადსორბირებისა და ზოგიერთი წესის შესახებ პირველი სისტემატური გამოკვლევა-ბი ეკუთვნის კ. ფაიანს და ფ. პანეტს.

იონური (ჰეტეროპოლარული) კრისტალის ზედაპირზე მიკრო-კომპონენტების რაოდენობრივი ადსორბციის რიგი საკითხების საბო-ლოო გადაწყვეტა ეკუთვნის ვ. ხლოპინის მოწაფეებს, განსაკუთრებით ა. რატნერს, რომლის თანახმად რადიოაქტიური ელემენტების ადსორ-ბციული მიტაცება და იზომორფული თანდალექვა შეიძლება ერთმა-ნეთისაგან განვასხვაოთ შემდეგ მაგალითებზე დაყრდნობით:

1) ადსორბციის შემთხვევაში ადსორბენტის მიტაცების ხასიათი დამოკიდებულია ნალექის (ადსორბენტის) ზედაპირულ სიდიდეზე და მის აღნაგობაზე, მაშასადამე, ის იცვლება (მცირდება) დროთა განმავ-ლობაში კრისტალის დაქვევლებასთან და მის გადაკრისტალებასთან ერ-თად;

2) სხვადასხვა სახის უმნიშვნელო მინარევებიც კი დიდ გავლენას ახდენენ ადსორბციის ხარისხზე. მაგალითად, ნალექის (ადსორბენტის) მიერ რადიოელემენტის შთანთქმას ძალიან ამცირებს ხსნარში მრავალ-ვალენტოვანი იონების დამატება და სხვ.

3) ცდის პირობების (ხსნარის კონცენტრაცია, ადგილობრივი ზე-მადლობის არსებობა და სხვ.) განსაზღვრული ინტერვალის ფარგლებს გარეთ უმნიშვნელო შეცვლაც კი დიდ გავლენას ახდენს ადსორბციის ხარისხზე, მაშინ როდესაც იზოთერმული თანდალექვა შედარებით ნა-კლებად არის დამოკიდებული ცდის პირობებზე, ნალექის ზედაპირის სიდიდეზე, მინარევის კონცენტრაციაზე და სხვ.

რეტნერის კლასიფიკაციის თანახმად, ჰეტეროპოლარულ კრისტალებზე მიმდინარე ადსორბციული პროცესები, ადსორბირებუ-ლი იონების ხასიათისა და ადსორბციული ძალების ბუნების მიხედ-ვით, შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: პირველადი და მეორეუ-ლი ადსორბცია. პირველადი ადსორბციის შემთხვევაში ადსორ-ბენტის კრისტალური გისოსის შემადგენლობაში იმყოფება ადსორბი-რებული იონი. პირველადი ადსორბცია თავის მხრივ იყოფა პირველა-დი მოცულობითი და პირველადი პოტენციალურ წარმონაქმნ ადსორ-ბციად, უკანასკნელ შემთხვევაში კრისტალის ზედაპირზე წარმოიქმნე-ბა მონომოლეკულური შრე. მეორეული ადსორბციის შემთხვევაში ად-სორბირებული იონები კრისტალის გისოსის შემადგენლობაში არ შე-დიან, არამედ რჩებიან კრისტალისა და ხსნარის შეხების ადგილის თხელ შრეზე. მეორეული ადსორბცია თავის მხრივ იყოფა მეორეულ მოცულობით (ელექტროსტატიკური) და ვან-დერ-ვაალსურ, ად-

სორბციად. ამ უკანასკნელს რადიოქიმიისათვის თითქმის არა აქვს მნიშვნელობა.

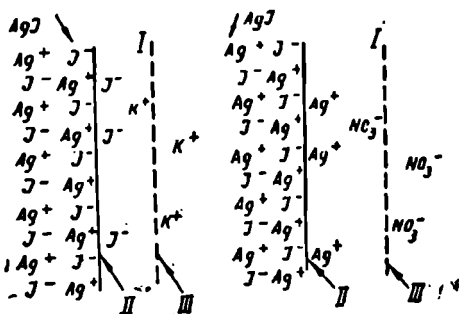
რეტნერის კლასიფიკაციაში არ არის მოცემული მეტად თავისებური და ნაკლებად შესწავლილი ე. წ. შიდაადსორბცია (შინაგანი ადსორბცია), რა დროსაც ადსორბენტის შინაგანი ყველა აქტიური ცენტრის დაკავება წარმოებს ადსორბტივის მიერ.

ა. ლოტერმოზერმა ვერცხლის ჰალოგენიდებზე ადსორბციული პროცესების შესწავლისას გვიჩვენა, რომ კრისტალისა და ხსნარის შეხების საზღვარზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნისას ვერცხლ-ჰალოგენიდების ნაწილაკები დადებით მუხტს ამჟღავნებენ მაშინ, თუ ხსნარში მათი სუსპენზირებისას ვერცხლის იონები ჰარბობენ, ხოლო უარყოფით მუხტს, თუ ხსნარში ჰალოგენიდების იონები იმყოფებიან ჰარბად. კრისტალის ზედაპირზე საკუთარი კათიონებისა და ანიონების არაერთნაირი სწრაფვის გამო ნაწილაკები მაშინაც კი ამჟღავნებენ ელექტრულ მუხტს, როცა ხსნარში არ იმყოფება არც ერთი მისი საკუთარი იონი (კათიონი ან ანიონი) ჰარბად. აქედან ნაწილაკების ზედაპირზე ელექტრული მუხტის წარმოქმნა და, მაშასადამე, ხსნარისა და ნაწილაკის შეხების საზღვარზე პოტენციალის აწევა გამოწვეულია სხვადასხვა ძალით, რომელიც აკავებს კრისტალის ზედაპირზე კათიონებს და ანიონებს, და მათი ურთიერთ მოქმედებაც არაერთნაირია გამხსნელის ნაწილაკებთანაც.

როგორც წესი, კათიონი და ანიონი ადსორბირდებიან სხვადასხვანაირად, მაგრამ კრისტალის ზედაპირზე პირველ რიგში შთაინთქმებიან ის იონები, რომელთა სწრაფვა კრისტალის წარმომქმნელ იონებთან მეტია და რომელთაც კრისტალის ნივთიერებასთან შეუძლიათ მყარი ხსნარი წარმოქმნან.

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე განვიხილოთ ვერცხლ-იოდიდის კრისტალის ზედაპირზე ადსორბციის საკითხი (ნახ. 23). კრისტალის უშუალო ზედაპირი უარყოფით მუხტიანია. მაშინ როცა ხსნარში ჰარბად იმყოფება კალიუმ-იოდინი, ვერცხლ-იოდიდის კრისტალის ზედაპირის ცალკეულ უბანზე იოდის იონები ფიქსირდება (ილექება) და უარყოფითად იმუხტება. თუ კალიუმ-იოდიდის ნაცვლად ხსნარში ჰარბად იმყოფება ვერცხლის ნიტრატი, მაშინ კი კრისტალის ზედაპირზე ფიქსირებული ვერცხლის დადებითი იონები ზედაპირის დადებითად დამუხტვას იწვევენ. ასეთი ადსორბციის შედეგად კრისტალის ზედაპირზე წარმოქმნილი უძრავი დამუხტული შრე წარმოადგენს პირველად ადსორბციას. ცხადია, ამასთან ერთად კრისტალის ზედაპირზე ელექტრული მუხტის გაჩენისთანავე მუხტიანი ნაწილაკების (იონების) უშუალო სიახლოვეზე გროვდება მკომპენსირებელი, მოპირდაპირე

მუხტიანი იონები, რომლებიც ქმნიან დიფუზიურ (მოძრავ) შრეს. დიფუზიურ შრეზე იონების ადსორბცია წარმოადგენს მეორეულ ადსორბციას. ამრიგად, კრისტალის ზედაპირზე წარმოიქმნება მოპირდაპირე ნიშნების მქონე მუხტიანი იონებისაგან შემდგარი ორმაგი შრე. მისი სისქე რამდენიმე ანგსტრემით განისაზღვრება. საერთოდ, სისტემა კრისტალ-ხსნარი ელექტრონეიტრალურია, მაგრამ ფაზათა გაყოფის უშუალო საზღვარზე ადგილი აქვს პოტენციალთა სხვაობას.



ნახ. 23. პეტერობოლარული კრისტალის ზედაპირზე ორმაგი იონური შრეების წარმოქმნის სქემა:

I—უძრავი ორმაგი შრის გაზე ნაწილი (მაკომპენსირებული იონები); II—უძრავი ორმაგი შრის შიგა ნაწილი (პოტენციალ წარმოქმნელი იონები); III—დიფუზიური გაზე შრე (მაკომპენსირებული იონები).

ჩვეულებრივად პირველად ადსორბციაში მონაწილეობენ თვითნალექის იონები ან მათი იზომორფული იონები, ამასთან უძრავ შრეზე კონცენტრირდება ის იონები, რომლებიც ხსნარში ქარბად იმყოფებიან (ნახ. 23).

ამრიგად, პოტენციალწარმოქმნელ იონთა კონცენტრაციის შეცვლით შეიძლება მიღწეული იქნეს ნალექის ზედაპირის განმუხტვა, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს მუხტის ნიშნისა და დიფუზიური შრის შეცვლას, რის შედეგად შეიცვლება შთანთქმელი იონის ტიპიც (კათიონის ნაცვლად ანიონი ან პირუკუ), როგორც აღვნიშნეთ, მეორეულ ადსორბციას უწოდებენ აგრეთვე იონმიმოცვლის პროცესს. რამდენადაც დიფუზიურ შრეზე შეიძლება იყოს ერთნაირი ნიშნის მქონე ნებისმიერი იონები, ამიტომ მათ (ე. ი. ანიონსა და კათიონს) შეუძლიათ შესცვალონ ერთმანეთი. ამასთან ერთად, არ არის აუცილებელი იყოს სრული იზომორფიზმი, შეიძლება იყოს ზედაპირული იზომორფიზმი — კრისტალების წახნაგებს შორის იყო მხოლოდ მსგავსება. ასე, მაგა-

ლითად, ტყვია-212 იზოტომის ადსორბცია ვერცხლ-ბრომიდის ნალექზე უფრო ძლიერდება, თუ ხსნარში ჰარბად შევიტანთ KBr ან KCl , ხოლო ნულს გაუტოლდება, თუ ხსნარში ჰარბად შევიტანთ KJO_3 , K_2SO_4 , $K_2Cr_2O_4$. ეს იმით აიხსნება, რომ ქლორის იონები (Cl^-) ფაზების შეხების ადგილზე გროვდებიან და ვერცხლი-ბრომიდის გისოსში აღწევენ, და მას ზედაპირულად უარყოფითად მუხტავენ (პირველადი ადსორბცია), რის შედეგად დიფუზიურ შრეზე იზრდება დადებით მუხტთან ტყვია-212-ის ადსორბცია. ხოლო JO_3^- , SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} იონები კი ვერცხლ-ბრომიდის კრისტალისათვის არ წარმოადგენენ ზედაპირულად იზომორფულ ანიონებს, ამიტომ ხსნარში მათი ჰარბად ყოფნისას ზედაპირული მუხტი უდრის ნულს და ტყვია-212 დიფუზიურ შრეზე არ ადსორბირდება.

პირველადი მოცულობითი ადსორბცია. როგორც აღვნიშნეთ, პოტენციალური წარმონაქმი ადსორბციის გარდა შეიძლება წარმართოს პირველადი მოცულობითი ადსორბცია. მაგალითად, თუ იონურ კრისტალს მოვათავსებთ საკუთარ იზოტოპურ ან იზომორფულ იონების შემცველ ხსნარში, მაშინ სისტემაში კრისტალის ზედაპირსა და ხსნარს შორის სწრაფად მყარდება დინამიკური წონასწორობა; ამ დროს კრისტალიდან ხსნარში და ხსნარიდან კრისტალზე იონთა მიმოცვლის სიჩქარეები ტოლია. მაშასადამე, პირველადი მოცულობითი ადსორბცია შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც შერეული კრისტალების წარმოქმნის საწყისი პროცესი. ნალექის გადაკრისტალების შემთხვევაში კი ის შეიძლება გარდაიქმნას ნორმალურ შერეულ კრისტალად. მაგალითად, რადიაქტიური ტყვიის $^{212}Pb_{82}$ (ThB) იონების შემცველ ხსნარში, თუ ბარიუმის სულფატის ($BaSO_4$) კრისტალებს შევიტანთ, მაშინ კრისტალის ზედაპირის იონებსა და ხსნარის იონებს შორის, კინეტიკური მიმოცვლის შედეგად, კრისტალის ზედაპირსა და ხსნარში ტყვიის იზოტოპურ შემცველობას შორის უნდა დამყარდეს წონასწორობა. ცხადია, ასეთ შემთხვევაში კრისტალის ზედაპირზე და ხსნარში რადიაქტიური და სტაბილური ტყვიის თანაფარდობა ერთნაირი უნდა იყოს. ამრიგად, საერთოდ პირველადი მოცულობითი ადსორბციის დროს კრისტალის ზედაპირის იონებსა და ხსნარის იონებს შორის წონასწორობა მყარდება:

$$\frac{N_{n1}}{N_n} = \frac{N_{p1}}{N_p}, \quad (2-7)$$

- სადაც N_{n1} — ნალექის ზედაპირზე რადიაქტიური ატომების რიცხვი;
 N_n — ნალექის ზედაპირზე სტაბილური ატომების რიცხვი;
 N_{p1} — ხსნარში რადიაქტიური ატომების რიცხვი;
 N_p — ხსნარში სტაბილური ატომების რიცხვი.

იზომორფიზმის ზემოაღნიშნული პირობების გათვალისწინებით (2—7) განტოლება საბოლოოდ მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{x}{1-x} = D \frac{PS}{\sigma mv}, \quad (2-8)$$

სადაც x ადსორბირებული რადიაქტიური ელემენტის ნაწილია;

$1-x$ ხსნარში დარჩენილი რადიაქტიური ელემენტის ნაწილია;

ე. ი. $\frac{x}{1-x}$ არის ადსორბციის კოეფიციენტი;

P — კრისტალური ნალექის (ადსორბენტის) წონა (მასა);

S — ადსორბენტის (სორბენტის) ხვედრითი ზედაპირი;

σ — კრისტალის შემქმნელი ელემენტის 1 გრამ-იონის მიერ დაკავებული ზედაპირი (ფართობი);

m — ხსნარში ადსორბენტის (კრისტალის) მოლური კონცენტრაცია;

v — ხსნარის მოცულობა;

D — კრისტალიზაციის კოეფიციენტი;

რადგან ადსორბციის კოეფიციენტი $\frac{x}{1-x}$ არის ადსორბირებული რადი-
აქტიური ელემენტის რაოდენობის შეფარდება ხსნარში დარჩენილ მის
ნაწილის რაოდენობასთან, ამიტომ ეს სიდიდე (კოეფიციენტი) ცდის
შედევებით ადვილად მონიხება, მისი გამოთვლა არ მოითხოვს ხსნარში
მყოფი ელემენტის აბსოლუტური რაოდენობის განსაზღვრას. ამ სიდი-
დიდან ადსორბირებული რადიაქტიური ელემენტის გრამ-იონების რიცხვ-
ზე — Na -ზე გადასვლა შედარებით ადვილია, თუ მხედველობაში ღივილებთ

იმას, რომ ის უდრის $Na = \frac{PS}{\sigma}$. ამრიგად

$$\frac{x}{1-x} = \frac{DNa}{mv},$$

აქედან შეიძლება Na განსაზღვრა $\left(Na = \frac{x}{1-x} \cdot \frac{D}{mv} \right)$.

მეორეული ადსორბცია. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, კრის-
ტალის ზედაპირზე ერთი სახის, მაგალითად, პირველად პოტენციალ-
წარმონაქმნ ადსორბციასთან ერთად ხსნარის დიფუზიურ შრეზე შეიძ-
ლება მიმდინარეობდეს მეორე სახის — მეორეული ადსორბცია. ეს
ორი სახის ადსორბცია არსებითად განუყოფელია. დიფუზიურ შრეზე
მიმდინარე მეორეული ადსორბცია ემორჩილება მოქმედ მასათა კა-
ნონს, ე. ი. იონთა მიმოცვლის ჩვეულებრივ კანონზომიერებას. დიფუ-

ზიური შრის შექმნის მიმდინარეობაში მონაწილეობს ხსნარში მყოფი ყველა იონი. სიმარტივისათვის წარმოვიდგინოთ, რომ ხსნარში გვაქვს მხოლოდ ორი ტიპის იონი Z_1 და Z_2 ვალენტოვნობით, რომელთა კონცენტრაცია ზედაპირულ შრეზე უდრის q_1 და q_2 შესაბამისად, ხოლო ხსნარში მათი თერმოდინამიკური აქტივობა უდრის a_1 და a_2 შესაბამისად. მაშინ ხსნარსა და სორბენტს შორის ამ ორი ტიპის იონთა მიმოცვლის რეაქცია ჩვეულებრივი A და B ზოგადი აღნიშვნებით ასე ჩაიწერება:



სადაც სიმბოლო S მყარ ფაზას მიეკუთვნება. აქედან მოქმედ წასათა კანონის თანახმად გვექვება:

$$q_1^{1/z_1} q_2^{1/z_2} = K \left(a_1^{1/z_1} : a_2^{1/z_2} \right), \quad (2-10)$$

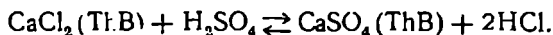
სადაც K მიმოცვლის მუდმივაა.

თუ ხსნარი რამდენიმე სხვადასხვა სახის იონებს შეიცავს, მაშინ თითოეული წყვილი მიმომცველი იონები შეიძლება განვიხილოთ როგორც დამოუკიდებელი, და (2-10) გამოსახულება სორბენტის თვისებისაგან დამოუკიდებლად გამოიყენება მეორეულ იონმიმომცველ აღსორბციის ყველა შემთხვევისათვის. (2-10) განტოლებას ნიკოლსკის განტოლება ანუ ნიკოლსკის იზოთერმა ეწოდება.

რადგან აღსორბცია ზედაპირული პროცესია, რადიოელემენტების იონების მიტაცების ეფექტიურობა (აღსორბცია) დამოკიდებულია ზედაპირზე გავლენის მომხდენ ფაქტორებზე: ჰიდრატაციის ენერგიაზე, უმხტის სიდიდეზე და სხვ. მაგალითად, იონების აღსორბცია მით მეტია, რაც მეტია ელექტრული მუხტი და მცირეა ზომით, ეს ნათლად ჩანს შემდეგი ცდის შედეგებიდან: რკინის ჰიდროკსანგი NH_4Cl -ის თანდასწრებისას რადიაქტიურ ბარიუმ-133-ის მიკრორაოდენობას მით მეტი რაოდენობით შთანთქავს, რაც მეტია დალევილი რკინის რაოდენობა, ე. ი. ნალექის საერთო ზედაპირის ზრდასთან ერთად იზრდება $^{133}Ba_{56}$ -ის ხსნარიდან ამოწვილვა, ხოლო თუ ნალექს გავაჩერებთ, თანდათან წავა ნაწილობრივი დესორბცია.

აღსანიშნავია, რომ იონმიმოცვლით აღსორბციაზე ძლიერ გავლენას ახდენს OH^- და H^+ იონების კონცენტრაცია ხსნარში, რადგან ამ იონებს შეუძლიათ გადამუხტონ ნალექის ზედაპირი.

განვიხილოთ რადიაქტიური ტყვია-212 (ThB^{2+})-ის თაბაშირზე დალევის პროცესი:



თუ ამ პროცესის დროს დამლექავი გოგირდმეკავა ჭარბადაა გამოყენებული, ტყვია-212-ის ადსორბცია ძალიან იზრდება, მაგრამ, თუ კალციუმის ქლორიდია ჭარბად დამატებული, მაშინ კი ThB შთანთქმა მკვეთრად მცირდება, აქ უღაოდ გავლენას ახდენს ადსორბენტის ზედაპირის გადამუხტვა: პირველ შემთხვევაში H_2SO_4 -ის სიჭარბის დროს $CaSO_4$ კრისტალების ზედაპირი დამუხტული იყო უარყოფითად SO_4^{2-} იონების ადსორბციის გამო და დამატებითი ტყვიის იონებს უფრო ძლიერ იტაცებდა; მეორე შემთხვევაში Ca^{2+} იონების ადსორბირების გამო თაბაშირის ზედაპირი დადებითად იყო დამუხტული, რამაც გამოიწვია ტყვიის იონების ადსორბციის შემცირება.

პოლიდისპერსული კრისტალური ნალექის შემთხვევისათვის ა. რ ე ტ ნ ე რ ი ს მიერ მოცემული ფორმულა (2—11) დიფუზიურ შრეში მეორეული ადსორბციის დახასიათების საშუალებას იძლევა:

$$\frac{x}{1-x} = K_0 \frac{s}{v} a^2, \quad (2-11)$$

სადაც K_0 —ზედმეცა, დამოკიდებულია ზეორე შრეში ადსორბციის მუშაობაზე;

z —მიკროკომპონენტის იონის ვალენცოეზობა;

a —მუდმეცა, დამოკიდებულია ხსნარში მყოფ გარეშე იონებზე. დანარჩენ აღნიშვნებს იგივე მნიშვნელობა აქვთ, რაც (2—8) ფორმულაში ჰქონდათ.

ადსორბციის ხარისხი $\frac{x}{1-x}$ პროპორციულია შთანთქმული იონების

ადსორბციისათვის გაწეული მუშაობისა, და მიახლოებით უდრის ზედაპირიდან იონის მოწყვეტისა და უსასრულო მანძილზე მისი გადატანისათვის გახარჯულ ენერჯიას. ამრიგად, ფაიანსი-პენეტის წესი ამ შემთხვევაშიც ძალაშია, ე. ი. მეორეული ადსორბციის დროსაც უკეთესად ადსორბირდება ის იონები, რომლებიც ნალექის ზედაპირზე ძნელად ხსნად ნაერთს წარმოქმნიან.

გარდა ამისა, მიკროკომპონენტის ადსორბციის ხარისხი მაკროკომპონენტის პოტენციალწარმოზაქმი იონების კონცენტრაციისთან წრფივ (სწორხაზოვან) დამოკიდებულებაშია.

ხსნარიდან იონების ადსორბციისა და ადსორბციული წონასწორობის დახასიათებისათვის ხშირად მიმართავენ ფ რ ე ი ნ დ ლ ი ხ ი ს იზოთერმულ განტოლებას:

$$a = kp^{1/n} \quad (2-12)$$

სადაც K და n ემპირიული მუდმივებია; P — კონცენტრაცია. K -მუდმივა დამოკიდებულია ადსორბირებულ ნივთიერებაზე, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა ერთის ტოლია C წონასწორული კონცენტრაციის დროს და 1 გ ადსორბენტის მიერ შთანქმეული ადსორბტივის რაოდენობით განისაზღვრება.

მუდმივა $n > 1$ და ჩვეულებრივად 2 -სა და 10 შორის მდებარეობს და განისაზღვრება ფრეინდლიხის ადსორბციის იზოთერმის ლოგარითმული ფორმისას მიღებული ტანგენს კუთხით ან $\log a = \log K + \log P$ ფორმულით. მაგალითად, იტრიუმ-91 და ევროპიუმ-152 იზოტოპების ადსორბცია რკინის სულფატზე ფრეინდლიხის განტოლებით კარგად ხასიათდება.

იშვიათად გვხვდება ერთგვაროვანი ზედაპირის შესატყვისი ადსორბციის ლანგმიურის იზოთერმა:

$$a = a_{\infty} \frac{P}{P + b_0 e^{-Q/RT}}, \quad (2-13)$$

სადაც a ადსორბციის ხარისხია (ადსორბენტის ზედაპირის შევსების ხარისხია);

a_{∞} — ადსორბენტის მთელი აქტიური ზედაპირი;

$b_0 e^{-Q/RT} = b$ — უკუ ადსორბციული კოეფიციენტი;

Q — ადსორბციის სითბო;

P — ხსნარის კონცენტრაცია (შთანთქმეული ნივთიერების ორთქლის დრეკადობა წონასწორულ მდგომარეობისას).

რიგ შემთხვევებში ადსორბცია ხასიათდება ფრუნკინის ლოგარითმული იზოთერმით $a = b \log P + C$ (5-14), სადაც b და c მუდმივებია.

მეცნიერებისა და ტექნიკის არნახული განვითარების საუკუნეში, განსაკუთრებით შიდაატომბირთვული ენერჯის ფართოდ გამოყენებისა და დღითიდღე მისი წარმოების გაზრდის პირობებში ადსორბციული პროცესების შესწავლას და პრაქტიკაში მათს გამოყენებას დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო რადიაქტიური იზოტოპების კონცენტრირებისა და გამოყოფისათვის და ა. შ., არამედ ატომური მრეწველობის და სხვ. თხევადი რადიაქტიური ნარჩენების მცირე მოცულობაში გადასაყვანად და მტკიცედ ფიქსირებისათვის, რადიოელემენტებისაგან წყლისა და თხევადი პროდუქტების გასუფთავებისა და სხვ. მიზნებისათვის.

6. ექსტრაქციის მეთოდი. ჩვეულებრივად ექსტრაქციის ქვეშ იგულისხმება წყლის ხსნარიდან წყალთან შეუღებავი ორგანული გამხსნელით (სითხით) გამოსხნარების (ექსტრაპირების), კონცენტრირების პროცესს. ამ მეთოდს ფართოდ იყენებენ უწონადი (ულტრა) რაოდენ-

ნობის რადიოელემენტების გამოსაყოფად. ამ მიზნისათვის დიდი მოცულობის წყალხსნარს უმატებენ ორგანულ გამხსნელს და გულმოდგინედ ანჯღრევენ, ტოვებენ ორგანული გამხსნელისა და წყლის ფაზების გაყოფამდე; საწყისში, წყალხსნარის ფრაქციაში მყოფი რადიოელემენტი თითქმის მთლიანად იქნება კონცენტრირებული ორგანულ ექსტრაქტში. შემდეგ ახალი ორგანული გამხსნელის დამატებით შეიძლება ხელახლა ამოწულვილი იქნეს დარჩენილი რადიოელემენტი (ექსტრაპირებული) და ა. შ.

პრაქტიკაში ექსტრაპირების პროცესს მრავალჯგის იმეორებენ, სანამ არ მიაღწევენ რადიოელემენტის თითქმის მთლიან გამოსხნარებას და მის კონცენტრირებას ძალიან მცირე მოცულობის ორგანულ გამხსნელში.

აღნიშნულიდან ჩანს, რომ დიდი მნიშვნელობა აქვს ნივთიერების განაწილებას ორ გამხსნელს შორის, რომელიც გენრი-ნერსტის კანონს უნდა ემორჩილებოდეს:

$$X = a_1/a_2 = c_1 f_1 / c_2 f_2, \quad (2-14)$$

სადაც X —განაწილების კოეფიციენტი;

a_1 და a_2 —თერმოდინამიკური აქტიურობა;

c_1 და c_2 —კონცენტრაციები;

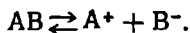
f_1 და f_2 —ორგანული და წყლის ფაზებში ნივთიერებათა აქტიურობის კოეფიციენტი.

(2—14) განტოლება სწორ პასუხს იძლევა, თუ ორივე გამხსნელში ნივთიერება ერთსა და იმავე მოლეკულურ ფორმაში იმყოფება.

თუ განხსნელში მეორე ნივთიერებაც არის გახსნილი X_2 განაწილების კოეფიციენტით, მაშინ ერთჯერადი ექსტრაპირება ასე ჩაიწერება:

$$a = X_1/X_2.$$

a — განაწილების კოეფიციენტს გადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მოცემული წყვილი ნივთიერების ცალ-ცალკე ექსტრაპირების ეფექტურობის შეფასებისათვის. სხვათა შორის, ხშირად გამოსახსნარებელი ნივთიერება წყალში დისოცირებულია, ორგანულ გამხსნელში კი არა. ასეთ შემთხვევაში განაწილების კანონი ვრცელდება მხოლოდ არადისოცირებულ მოლეკულებზე:



K —წონასწორობის მუდმივა ამ რეაქციისათვის იქნება:

$$K = \frac{[C_{AB}]}{[C_A][C_B]}.$$

თუ წყალხსნარში ნივთიერება თითქმის 100% -ით დისოცირებულია, მაშინ

$C_{AB} \cong KC_A^2 \cong KC^2$, სადაც C მოცემული ნივთიერების კონცენტრაციას გამოსახავს წყალში, ე. ი. $a \cong c$ (a -იონების აქტიურობა), მაშინ ექსტრაქციის კანონი ასე გამოიხატება:

$$X = \frac{[C_{AB}]}{KC^2}.$$

ასეთ შემთხვევაში ორგანულ ფაზაში ექსტრაპირებული ნივთიერების კონცენტრაცია დამოკიდებულია წყალში მისი კონცენტრაციის კვადრატზე.

გარდა აღნიშნულისა, ექსტრაქცია ეფექტურად რომ ჩავატაროთ, უნდა ვიცოდეთ გამოხსნარებულ ნივთიერებათა ქიმიური ქცევა ხსნარში და პროცესის კინეტიკა.

მაგალითად, $UO_2(NO_3)_2$ წყალხსნარიდან მრავალი ორგანული გამხსნელით ექსტრაპირდება (გამოხსნარდება): დიეთილეთერით, ეთილმპრისეთერით, ტრიბუთილფოსფატით და სხვ., ამავე გამხსნელებით ასევე კარგად ექსტრაპირდება ცირკონიუმის ნიტრატიც $Zr(NO_3)_4$. ცხადია, ერთად ყოფნისას აღნიშნული გამხსნელებით მათი დაცილება არ ხერხდება.

ციკლონიუმი წარმოადგენს ერთ-ერთ კონსტრუქციულ მასალას ბირთვული რეაქტორებისათვის და ის სუფთად უნდა იქნეს გამოყოფილი. ბუნებაში ცირკონიუმი, მისი თანამგზავრი ჰაფნიუმით არის გაქუქვიანებული. ცირკონიუმის მადნებში ჰაფნიუმი შედის 2—3%-ის რაოდენობით, მაშინ როდესაც ცირკონიუმის ბირთვულ რეაქტორებში გამოყენებისას დასაშვებია ჰაფნიუმის მინარევი არა უმეტესი $\leq 0,01\%$.

ციკლონიუმის ასეთი ხარისხით გასუფთავება წარმატებით ხორციელდება ექსტრაქციის მეთოდით. დადგენილია, რომ 8N აზოტმჟავის ხსნარიდან ეთერით ექსტრაპირებისას ($X=2$) ჰაფნიუმი მეტისმეტად დისოცირებულია, ვიდრე ცირკონიუმი. ამიტომ ჰაფნიუმი წყლის ფაზაში რჩება, მაშინ როდესაც ცირკონიუმი მთლიანად გადადის ორგანულ ფაზაში. ამ პირობებში ისინი კარგად სცილდებიან ერთმანეთს, მაგრამ თუ აზოტმჟავას კონცენტრაციას ძალიან გავზრდით, მაშინ ჰაფნიუმიც გადადის ორგანულ ფაზაში. მაშასადამე, დასაშვებზე მეტად მჟავას კონცენტრაციის გაზრდისას ჰაფნიუმისა და ცირკონიუმის დისოციაციის ხარისხი მცირდება და ორივენი მეტი რაოდენობით გადადიან ორგანულ ფაზაში და მათი ერთმანეთისაგან დაცილების ხარისხი მცირდება. ამიტომ ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის უნდა შეიქმნას საკუთარი პირობები, ელემენტების ერთმანეთისაგან ზუსტად დაცილების უზრუნველსაყოფად.

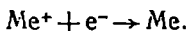
ექსტრაქციულ პროცესში დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე იმასაც, რომ მთელი რიგი ელემენტები არაორგანულ და ორგანულ ნივთიერებებთან ნაკლებად დისოციაციის უნარის მქონე ნაერთებს წარმოქმნიან, რაც გამოყენებული უნდა იქნას ექსტრაქციულ პროცესებში. სწორედ კომპლექს-წარმომქმნელთა საშუალებით იქნა ერთმანეთისაგან დაცილებული იმვითა მიწათა ელემენტები, 15 მოლარულ აზოტ-მჟავას ხსნარიდან ტრიბუტილფოსფატით ექსტრაჰირების ხერხით.

ამჟამად ექსტრაქციის მეთოდი ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო მასშტაბით, ატომბირთვული საწვავისა და მისი დაშლის პროდუქტების გასუფთავებისა და დაცილებისათვის, რადიოაქტიური ელემენტების რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის და სხვ.

7. ლითონის ზედაპირზე ელემენტების გამოყოფის ელექტროქიმიური მეთოდი. ცნობილია, რომ თავისივე მარილის ხსნარში მოთავსებული ლითონი განიცდის ორი ძალის მოქმედებას. ერთი ძალა მიმართულია ხსნარიდან ლითონისაკენ, მეორე ლითონიდან ხსნარისაკენ. ლითონიდან ხსნარისაკენ მიმართული ძალა ლითონს აიძულებს გაგზავნოს თავისი იონები ხსნარში, ხოლო ხსნარიდან ლითონისაკენ მიმართული ძალა კი ცდილობს ხსნარში არსებული ლითონის იონები გამოყოს ლითონის ზედაპირზე. ორივე შემთხვევაში ლითონისა და ხსნარის საზღვარზე მოქმედებს ორი ძალა, რის შედეგად ხდება ლითონის გახსნა და მისი იონების სახით ხსნარში გადასვლა:



ამ შემთხვევაში თვით ლითონი იმუხტება უარყოფითად, ხსნარი კი დადებითად, ანდა ხსნარიდან ლითონის იონები ლითონის ზედაპირზე გამოიყოფა:



ამ მეორე შემთხვევაში თვით ლითონი იმუხტება დადებითად, ხსნარი კი უარყოფითად. როგორც კი წარმოიქმნება მუხტი, მაშინვე წარმოიქმნება ორმაგი შრე (პოტენციალთა მატება) ლითონსა და ხსნარს შორის.

აღსანიშნავია, რომ ლითონსა (სორბენტსა) და ხსნარს შორის ელექტროქიმიური წონასწორობის დამყარება არ შეიძლება განვიხილოთ სტატიკურად. იგი დინამიკურია, ლითონის იონები განუწყვეტლივ გადმოდიან ორმაგი შრიდან და ილექებიან ელექტროდზე (ლითონზე), ერთდროულად ეკვივალენტური რაოდენობის იონები იგზავნება ხსნარში. თუ ელექტროდი ჩაშვებულია ხსნარში, სადაც თავისივე იონების გარდა იმყოფება აგრეთვე სხვა ლითონის იონებიც, მაშინ პროცესი უფრო რთულია. ასეთ შემთხვევაში ელექტროდის ზედაპირზე, ელექ-

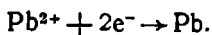
ტროდთან შედარებით, უფრო კეთილშობილი ლითონის იონები გამოიყოფა, ე. ი. ის იონები გამოიყოფა ელექტროდის ზედაპირზე, რომლებსაც მოცემულ პირობებში (კონცენტრაცია, ხსნარის ბუნება) ძალუძთ ლითონსა და ხსნარის შეხების ზღვარზე წარმოქმნან უფრო დადებითი პოტენციალი, ვიდრე ხსნარში შემცველ სხვა იონებს. ასეთი პროცესის შედეგად ელექტროდის ზედაპირზე თვითნებურად მეტი რაოდენობით გამოიყოფა ახალი ნივთიერება, ეკვივალენტური რაოდენობის იონების ხსნარში გაუგზავნავად. ამრიგად, წარმოიქმნება ელექტროდის ახალი პოტენციალი, ელექტროდის ზედაპირის დამფარავი ლითონის შესატყვისი პოტენციალი; რთული შემადგენლობის (სხვადასხვა ნივთიერების შემცველი) ხსნარის შემთხვევაში ელექტროდის ზედაპირი დაფარული იქნება იმ ლითონით, რომელსაც ელექტროდული პოტენციალი უფრო დადებითი აქვს: ყოველთვის შეგვიძლია შევქმნათ ისეთი პირობები, რომ ხსნარში მყოფი ელემენტებიდან მოცემულ ელექტროდზე გამოვყოთ ის ელემენტი, რომლის გამოყოფაც გვსურს.

როგორც წესი, მიკრორაოდენობის რადიოელემენტების რადიოქიმიურ ამოწვლილვას ახდენენ თვით ელექტროდების იონების არ შემცველი მკავე ხსნარებიდან. რადიოელემენტისა და ელექტროდის (ლითონის) ელექტროდულ პოტენციალთა შედარებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ, მოცემულ პირობებში გამოიყოფა თუ არა მოცემული რადიოელემენტი ელექტროდზე, მაგალითად, პლატინა-წყალბადის ელექტროდის ნორმალური პოტენციალი 0,1 ნორმალურ HCl ხსნარში უდრის—0,06 ვოლტს, ბისმუტის პოტენციალი +0,04 ვოლტს, პოლონიუმის +0,656 ვოლტს მათი $\sim 10^{-8}$ ნორმალური კონცენტრაციისას, ხოლო ტყვიისა—0,25 ვოლტს 10^{-6} ნორმალური კონცენტრაციის დროს.

ამრიგად, პოლონიუმი და ბისმუტი აღნიშნულ პირობებში შეიძლება გამოიყოს პლატინის ზედაპირზე წყალბადთან ჩანაცვლების გზით, რაც ცდითავე დასტურდება. რაც შეეხება ტყვიას, მისი პოტენციალი უარყოფითია, ამიტომ იგი პლატინის ზედაპირზე (ელექტროდზე) არ უნდა გამოიყოს, რაც აგრეთვე ცდით დასტურდება. ამ ხერხით შეგვიძლია განვაცალკევოთ რადიოქიმიური პოლონიუმი და ბისმუტი ტყვიისაგან.

ამავე ხერხით იქნა $^{212}\text{Pb}_{82}$ (ThB) და $^{212}\text{Bi}_{83}$ (ThC) იზოტოპები ერთმანეთისაგან დაცილებული ნიკელის ელექტროდის გამოყენებით. ცხადია,—0,23 ვოლტი პოტენციალის მქონე ნიკელის ელექტროდზე გამოიყოფა + 0,28 ვოლტი პოტენციალის მქონე ბისმუტი. საფიქრებელი იყო, რომ—0,13 ვოლტი პოტენციალის მქონე ტყვიაც გამოიყოფოდა ნიკელის ელექტროდზე, მაგრამ ეს არ მოხდა, რაც უნდა აიხსნას ხსნარის მცირე 10^{-10} მოლური კონცენტრაციით.

ლითონების ელექტროქიმიური დაცილებისა და შერჩევით ელექტროდზე გამოყოფასთან მტკიცე კავშირშია ელექტროლიზის მეთოდი. ელექტროლიზის დროს ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდებზე მოდებულ პოტენციალთა სწვაობის ძალით დადებითი იონები (კათიონები) მიემართებიან კათოდისაკენ (კარბი ელექტრონების მქონე ელექტროდისაკენ) და შეიძენენ ელექტრონს, ე. ი. აღდგებიან და გამოიყოფიან თავისუფალი სახით:



ხოლო ანოდზე ჰიდროქსილი იონების განმუხტევისთან ერთად ტყვიის იონი ოთხვალენტოვან ტყვიად იქანგება ტყვიის ორქანგის (PbO_2) წარმოქმნით.

$^{24}\text{Mg}_{12}(\text{d}, \alpha)^{22}\text{Na}_{11}$ -ატომბირთვული რეაქციით მიღებული ნატრიუმ-22 გამოიყო თავისუფალი სახით და უსარჩულოდ ვერცხლისწყლის ელექტროდზე.

ელექტროლიზის მეთოდით რიგი რადიექტიური ელემენტები იქნა თავისუფალი სახით გამოყოფილი და მრავალი რადიოელემენტის გამოყოფა შეიძლება ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის ხსნარის შემადგენლობის, დენის სიმკვრივის, ტემპერატურის, ელექტროდების მასალისა და სხვ. კარგად შერჩევის საფუძველზე. მაგალითად, რადიექტიური კობალტ-60 და თუთია-65; 1% გოგირდმჟავას ხსნარიდან, დენის ძაბვა 6 ვოლტი, დენის ძალა 2,5 ამპერისა და 80° ტემპერატურის პირობებში, თითქმის 100%-ით გამოიყოფა ელექტროდზე 1,5 საათის განმავლობაში.

ელექტროქიმიური მეთოდი ჯერჯერობით მხოლოდ ლაბორატორიულ პრაქტიკაში გამოიყენება მცირე რაოდენობის რადიოელემენტების გამოსაყოფად და თეორიული საკითხების გადასაწყვეტად.

8. იზოტოპების ქრომატოგრაფიული განცალკევება. ქიმიური თვისებებით მონათესავე ელემენტების სორბციული და დინამიკური განცალკევების მეთოდი — ქრომატოგრაფიული მეთოდი ჯერ კიდევ 1903 წელს გამოჩენილმა რუსმა მეცნიერმა მ. ცვეტოვმა აღმოაჩინა და გამოიყენა.

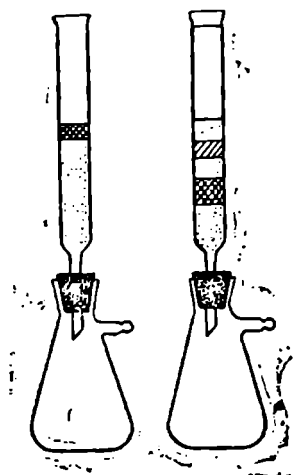
პირველ ხანებში ქრომატოგრაფიული მეთოდი ფერადი ხსნარების შემთხვევებში გამოიყენებოდა, ამჟამად უფრო ხშირად მას იყენებენ უფერულ ხსნარებისათვის, რადგან ქრომატოგრაფიული მეთოდი საფუძვლად უდევს სორბცია-დესორბციის მრავალჯერადი თანმიმდევრული პროცესის; პრინციპულად ამ მეთოდით შეიძლება განცალკევება ისეთი ნივთიერებებისა, რომლებიც მცირედ მაინც განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან სორბციული უნარით, ხსნადობით ან სხვ. თვისებ-

ბით. ამჟამად ყველაზე გავრცელებულია მყარ სორბენტებზე დამყარებული ქრომატოგრაფია: იონგაცვლითი განცალკევება, გამოძევებითი ქრომატოგრაფია, აღსორბციული (მოლეკულარული) ქრომატოგრაფია, კომპლექსწარმოქმნითი ქრომატოგრაფია და სხვ. ამათგან კი იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია უფრო ხშირად გვხვდება. იონების განცალკევებისათვის იხმარება კათიონიტები: Ky—2, ლაუექს—50 და სხვ. ანიონიტებიდან: AB—17 და სხვ. იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია გამოიყენება როგორც მაკრო-, ისე მიკრორაოდენობის ნივთიერებათა განცალკევებისათვის, განსაკუთრებული წარმატებით და ეფექტურობით კი მიკროკომპონენტების განცალკევებისათვის.

განიხილოთ კონკრეტული მაგალითი. რადგან ქრომატოგრაფიული მეთოდის ეფექტურობა დამოკიდებულია ქრომატოგრაფიული მილის განსა და სიგრძეზე, ფისის ტევადობაზე, მისი აღნაგობის სიხისტეზე, გამრეცხი ხსნარის კონცენტრაციაზე და სხვ. ხოლო იონმიმოცვლითი ფისების გამოყენებისას სხვადასხვა იონების ჩანაცვლების უნარი დამოკიდებულია იონის მუხტზე, მის რადიუსზე, ელექტროლიტის დისოციაციის ხარისხზე და სხვ. ამიტომ ყველაფერი ეს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ქრომატოგრაფიული ანალიზის ჩატარების დროს. უნდა ავიღოთ მოცემული ცდისათვის საჭირო დიამეტრისა და

სიგრძის მინის ცილინდრული მილი — ქრომატოგრაფიული მილი (ნახ. 24).

ნახაზზე მოცემული ფორმის ქრომატოგრაფიულ მილში მოვათავსოთ მყარი სორბენტი, მაგალითად, ორგანული ფისი, რომელიც შეიცავს ერთ ან რამდენიმე ფუნქციონალურ ($-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$...) ჯგუფს. კათიონჩამნაცვლებლად ითვლება $-\text{HSO}_3$ ჯგუფი, რომელშიც წყალბადის იონი შეიძლება ჩანაცვლებულ იქნეს ზემოთ აღნიშნული პირობების დაცვისას ნებისმიერი კათიონით. ცდის მომზადებისას ქრომატოგრაფიული მილის შევიწროვებულ ნაწილში ვათავსებთ მინის ბამბას, შემდეგ კი ორგანულ ფისს მოცემული ცდისათვის საჭირო სიმაღლეზე ვამაგრებთ პერპენდიკულარულად. ამრიგად მომზადებულ ქრომატოგრაფიულ



ნახ. 24. ქრომატოგრაფიული აღსორბციული ანალიზის სქემა.

მილში ვატარებთ გამოსაკვლევ ნივთიერებათა ნარევის ხსნარს, სანამ

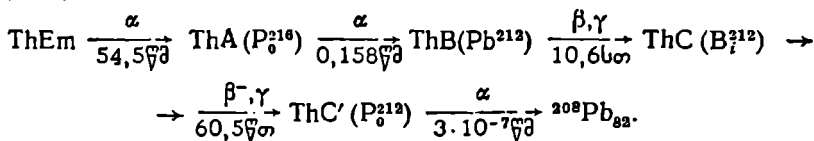
მილიდან არ დაიწყება სუფთა გამხსნელის გამოსვლა. ამის შემდეგ ვაწარმოებთ დესორბციას, ე. ი. ჩაგრეცხავთ ფრაქციულად აღსორბირებულ ნაწილაკებს მოცემული ცდისათვის სპეციალურად შერჩეული გამომრეცხი ხსნარით (ელუენტით), ჩაგრეცხვის დროს პირველ რიგში დესორბირდებიან ის ელემენტები, რომლებიც ყველაზე ბოლოს აღსორბირდნენ, ე. ი. ისინი, რომლებიც ყველაზე ცუდად შთანთქმნენ.

აღსანიშნავია, რომ ქრომატოგრაფიული მეთოდით ელემენტთა ნარევის განცალკევების ეფექტურობა ძალიან გაიზარდა მას შემდეგ, რაც გამომრეცხ ხსნარად გამოყენებული იქნა სხვადასხვა სახის კომპლექსწარმოქმნელები. კომპლექსწარმოქმნელები ისე უნდა იქნენ შერჩეული, რომ მხოლოდ ერთ-ერთ შთანთქმულ იონთან იძლეოდეს მოცემული შთანთქმელისათვის შთაუნთქმელ ნაერთს, მეორე გამრეცხავი ხსნარის გამოყენებისას ასევე ერთ-ერთ შთანთქმული იონის გადასაყვანად შთაუნთქმელ ნაერთში და ა. შ. ამ გზით მიღწეულია ცალკეული ელემენტების შერჩეულად გამოყოფა მათი ნარევიდან. მაგალითად, თუ წინათ იშვიათი მიწური ელემენტების განცალკევებისათვის დალექვის ან წილადური კრისტალიზაციის მეთოდი მოითხოვდა მომქანცველ შრომას წლების განმავლობაში, იონმიმოცვლითი ფისების საშუალებით კი მხოლოდ რამდენიმე დღეა საჭირო, და პროდუქტიც დაახლოებით 100%-ის სისუფთავისა მიიღება.

ქრომატოგრაფიული მეთოდის საშუალებით გახდა შესაძლებელი ელემენტების: ფერმიუმის, მენდელეევიუმისა და სხვ. გამოყოფა მათი დედისეული ელემენტებიდან. გამოყოფილი ელემენტი მხოლოდ რამდენიმე ათეულ ატომს შეიცავდა; ასეთი სიზუსტე წინათ მიუღწეველი არ იყო. ქრომატოგრაფიულ მეთოდს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს რადიაქტიური ელემენტების განცალკევებისათვის.

მ. აქტიური ნალექისა და ატომების გაცემის მეთოდი. თუ რადიაქტიური ელემენტი დაშლისას ემანაციას წარმოქმნის, მაშინ შემდეგი დაშლის პროდუქტი შედარებით ადვილად შეიძლება გამოვეყოთ პრეპარატის ძირითადი მასისაგან, რადგან იონების სახით გამოყოფილი ემანაციები ადვილად გადადიან ატომურ მდგომარეობაში და მიღებული აირი ძირითად მასას სცილდება და თვითონ იშლება მყარი პროდუქტის მოცემით, რომელიც გარემომცველ საგნებზე ილექება, ე. ი. წარმოიქმნება აქტიური ნალექი. პრეპარატიდან ემანაციის გამოყოფის სისრულე და სიჩქარე რიგ ფაქტორებზეა დამოკიდებული; აგრეგატული მდგომარეობაზე, თუ მყარ ნივთიერებასთან გვაქვს საქმე, დისპერსულობაზე, ტემპერატურასა და ატმოსფერულ წნევაზე და ა. შ... როგორც ზემოთ ვნახეთ, ახალი ატომების დაშლის შედეგად ძირითადად დამუხტული იონები მიიღება, თუ თორონის, რადონის ან აქტინონის

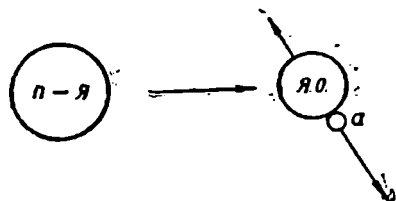
შემდეგ კურკელში შევიტანთ უარყოფითად დამუხტულ ლითონის წვრილ მავთულს, მასზე დაგროვდება თორონის, რადონის ან აქტინონის დაშლის რადიექტიური პროდუქტი—აქტიური ნალექი. მაგალითად, თორონი იძლევა შემდეგი შემადგენლობის აქტიურ ნალექს და საბოლოოდ სტაბილურ ტყვიას:



სუფთა თორონის გამოყოფიდან 9 წთ ($t = 10T$) ექსპოზიციის შემდეგ მთელი ნალექი შეიძლება ჩავთვალოთ $\text{ThA} (\text{P}_{\alpha}^{218})$, რომლის ატომების დაშლის შედეგად სწრაფად ($10T = 1,6$ წმ) გროვდება $\text{ThB} (\text{Pb}^{212})$, რომელიც ~ 106 სთ ($10T = 1,6$ წმ) შემდეგ გარდაიქმნება $\text{ThC} (\text{Bi}^{212})$, ამ გარდაქმნის პროცესში აქტივობა ჯერ მცირდება, შემდეგ ისევ იზრდება და გარდაიქმნება $\text{ThC}' (\text{P}_{\alpha}^{212})$, რომლის დაშლის დაწყების მათუწყებელია ხელახლა ალფა-აქტივობის გამოვლინება. განხილულ შემთხვევაში რადიექტიური წონასწორობის დამყარების შემდეგ აქტივობა მცირდება, რადიექტიური გარდაქმნის კანონის თანახმად, $\text{ThB} (\text{Pb}^{212})$ -ის მიხედვით, რადგან იგი ყველაზე დიდი სიცოცხლის უნარის მქონეა.

ზემოგანხილულიდან ჩანს, რომ ატომბირთვის დაშლის დროს მიმდინარე ატომის გაცემის მოვლენა შეიძლება გამოვიყენოთ ცალკეული

რადიექტიური ელემენტების გამოსაყოფად, რადგან ატომბირთვიდან ალფა-ნაწილაკის (ან სხვა ნაწილაკის) გამოტყორცნისას წარმოქმნილი ახალი ატომბირთვი მოპირდაპირე მიმართულებით ღებულობს იმპულსს, რაც ნათლად ჩანს 25-ე ნახ.-დან. მარტივი დაშლის შემთხვევაში იმპულსი ტოლი იქნება:



ნახ.25. n-Я—მდგრადი-შუალედი ატომბირთვი; Я0—წარმოქმნილი ატომბირთვი („ცხელი“ ატომბირთვი); α—გამოტყორცნილი ნაწილაკი (α, β, γ და სხვ.) ან γ = კვანტი.

$$mv = MV \text{ ან } \frac{v^2}{V^2} = \frac{m^2}{M^2}$$

სადაც m , M ნაწილაკისა და ბირთვის მასაა;
 v , V —ნაწილაკისა და ბირთვის სიჩქარეა.

1 ახლად წარმოქმნილი ატომბირთვი ღებულობს ისეთ კინეტიკურ ენერჯიას და სისწრაფეს, რომელიც ასობით ათასი და მილიონ გრადუსი ტემპერატურის რიგისაა. ამიტომ მას „ცხელი“ ატომბირთვი ეწოდება.

თუ ენერჯიის (E) მიხედვით ვიანგარიშებთ, გვექნება:

$$E_M = E_m \frac{m}{M} \cdot \quad (2-15)$$

თუ ატომბირთვი γ -კვანტის გამომსხივებელია, ენერჯიის გაცემის განტოლება (2-15) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E_M = \frac{E^2 \gamma}{1862M} \cdot \quad (2-16)$$

ატომის (ბირთვების) გაცემის მეთოდი მარტივი გარდაქმნების შემთხვევებისათვის კარგი შედეგით ხასიათდება, რადგან მიღებული მონაცემების—გამომსხივების ენერჯიის (2-15) და (2-16) განტოლებებით გაანგარიშება საშუალებას გვაძლევს გავარკვეოთ რადიოელემენტის ბუნება, ხოლო აქტიური ნალექის (ლითონის მავთულზე ან სხვ. დალექვის) მეთოდი შესასრულებლად ადვილია.

10. რადიაქტიური ელემენტების შემცველი ნერთების მიღება და იზომერების განცალკევება; სცილარდ-ჩალმერსონის ეფექტი. ზემოთ განხილული მეთოდები, როგორც აღვნიშნეთ, იზოტოპების ერთმანეთისაგან განსაცალკევებლად და კონცენტრირებისათვის წარმატებით მაშინ გამოიყენება, თუ ესა თუ ის იზოტოპი გამოსაყოფია სხვანაირი ქიმიური თვისებების მქონე იზოტოპებისაგან (ელემენტისაგან). მაგრამ ამ მეთოდებით ვერ განვაცალკევებთ იზოტოპებს, რომლებიც მიღებულია $/n, \gamma/, / \gamma, n/, / \gamma, 2n/$ რეაქციების საშუალებით; ვერ განვაცალკევებთ, რადგან აღნიშნული რეაქციების დროს მიიღება იმავე ელემენტის იზოტოპი, რომელმაც განიცადა ბომბარდირება. იზოტოპების მიღების ეს რეაქციები და განსაკუთრებით $/n, \gamma/$ რეაქცია ყველაზე უფრო გამოიყენება იზოტოპების მისაღებად. ამ რეაქციების შედეგად A დასაბომბავი ელემენტის დაბომბვით მიიღება იგივე ელემენტის ძალიან აგზნებული A^* ატომი, ან რადიაქტიური იზოტოპი თავისივე სტაბილური იზოტოპით, ძალიან განზავებული, ე. ი. მცირე ხვედრითი აქტიურობის მქონე. ჩვეულებრივი კლასიკური მეთოდებით მისი კონცენტრირება არ შეიძლება. ამ ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელია სცილარდ-ჩალმერსონის მეთოდით, რომლის შინაარსი მდგომარეობს იმაში, რომ ყოველი სახის ატომბირთვულ გარდაქმნას მეტ-ნაკლები ხარისხით თან ახლავს ატომის მდგომარეობის ესა თუ ის ცვლილება. ამ შემთხვევაშიც ატომბირთვის გარდაქმნისას ბირთვის ის ღრმა ქიმიური ცვლილებებია გამოყენებული, რომლებიც ცნობილია აქტიური ნალექის მიღებისა და ატომების გადაცემის მეთოდის შემთხვევაში. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მაღალი ენერჯიის მქონე ნაწილაკებით დაბომბვისას ატომბირთვი იძენს გარკვეულ ენერჯიას და და-

ბომბების მომენტში მეტისმეტად აგზნებულ მდგომარეობაში იმყოფება. ჩვეულებრივად ასეთი ატომები (იონები) კინეტიკური ენერგიის სიჭარბის ან ვალენტური მდგომარეობის შეცვლის გამო არ შეიძლება დარჩნენ იმ ნაერთის შემადგენლობაში, რომელშიც ისინი წინათ იყვნენ, და მოლეკულას ტოვებენ. ეს მოვლენა პირველად სცილარდმა და ჩალმერსონმა შეამჩნიეს და ამიტომ ეწოდა სცილარდ-ჩალმერსონის ეფექტი. რადიაქტიური გარდაქმნისას ატომების მიერ მიღებული ენერგია შეიძლება გაანგარიშდეს (5—16) და (5—15) ფორმულების საშუალებით.

აღსანიშნავია, რომ უმდგრადი ატომბირთვების დაშლისას გამოტყორცნილი ნაწილაკები (α , β , P და სხვ.), ან უკვანტები ერთი მიმართულებით, ხოლო ახლად წარმოქმნილი ატომბირთვი კი მოპირდაპირე მიმართულებით განიზიდებიან (განიტყორცნებიან). განზიდვა უდიდესი ძალით ხდება და ამიტომ ახლად წარმოქმნილი ატომის (ატომგაცემა) სიჩქარე რამდენიმეჯერ მეტია თბური მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარეზე. კინეტიკური მოძრაობის ასეთი სიჩქარე ტოლია ასეულ ათასიდან მილიონ გრადუსამდე ტემპერატურისა. ასეთ ძლიერ აგზნებულ და მაღალიონიზებულ და უფრო მეტად დადებით მუხტიან ატომებს „ცხელს“ უწოდებენ. ცხელი ატომების ენერგია რამდენიმეჯერ აღემატება ქიმიური ბმის (1—10 ელექტრონვოლტი) ენერგიას. ამის გამო ახლად წარმოქმნილი ცხელი ატომი სწრაფად წყვეტს კავშირს დედისეულ მოლეკულასთან, ტოვებს მას და უდიდესი სისწრაფით მიჭრის; გზაზე შემხვედრ მოლეკულებისა და ატომების იონიზაციას იწვევს და, საბოლოოდ, მათთან ურთიერთქმედებით ქმნის ახალ ნაერთს, მაგრამ არა ყველა ცხელი ატომი ტოვებს მოლეკულას, რომლისაგან ის წარმოიქმნა. ხშირად ცხელი ატომი თავის აგზნების ენერგიას უნაწილებს მოლეკულის შემკველ ატომებს, რაც ზრდის მოლეკულის რხევითი მოძრაობის სიხშირეს. ატომების ასეთი შიგამოლეკულური ურთიერთმოქმედების გამო ატომი რჩება გამოსავალ ნაერთში. ზოგჯერ ცხელმა ატომმა შეიძლება ისევე გამოსავალი ნივთიერება წარმოქმნას ნაერთიდან მისი მსგავსი ატომის ამოგლეჯვისა და მისი ადგილის დაკავების გზით. ამრიგად, ერთი გარდაქმნის რეალური პროცესი ხშირად ძალიან რთულია.

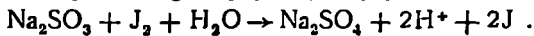
როგორც აღენიშნეთ, იზოტოპების მისაღებად ყველაზე გავრცელებულია ატომბირთვული (n , γ) რეაქცია. ამავე რეაქციითვე მიიღეს სცილარდმა და ჩალმერსონმა რადიაქტიური იოდი, მეთილიოდიდის ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციით:

$^{127}\text{J}_{53} + ^1\text{n}_0 \rightarrow ^{128}\text{J}_{53} + \gamma$ ანუ $^{127}\text{J}_{53}(\text{n}, \gamma)^{128}\text{J}_{53}$; $T = 25$ წთ. β , γ .

სცილარდ-ჩალმერსონის ეფექტის თანახმად, რადიან ეთილ-იოდიდ-

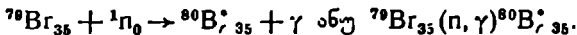
ში C—J შორის ქიმიური ბმის ენერგია ნაკლებია, ვიდრე $E_M = \frac{E^2 \gamma}{1862\lambda}$ -

ით გაანგარიშებული გაცემის ენერგია, ამიტომ რადიოქტიური იოდი ელემენტარულ მდგომარეობაში ტოვებს ეთილ-იოდიდის მოლეკულას. წყალში ხსნად მდგომარეობაში ელემენტარულ იოდის გადაყვანის მიზნით მას მცირე რაოდენობით უმატებენ აღმდგენელს.



ამ რეაქციის შედეგად რადიოქტიური იოდი ეთილის ფენიდან გადადის წყლის ფენაში. შემდეგ კი მას ლეჟავენ AgJ^{128} -ის სახით. ასე წარმოებს (n, γ) (γ , n), (γ , 2n) ატომბირთვული რეაქციების შედეგად მიღებული რადიოქტიური იზოტოპების გამოყოფა.

რ ა დ ი ა ქ ტ ი უ რ ი ი ზ ო მ ე რ ე ბ ი ს გ ა ნ ც ა ლ კ ე ვ ე ბ ა. ცნობილი კლასიკური ფიზიკური და ქიმიური მეთოდებით რადიოქტიური იზომერების განცალკევება შეუძლებელია. ამ შემთხვევაში სცილარდისა და ჩალმერსონის მიერ მოცემული მეთოდით შეგვიძლია ისინი განვაცალკევოთ. იზომერების მიღება და განცალკევების ხერხებიდან, ბრომის რადიოქტიური იზომერის მიღება და გამოყოფა ეთილ-ბრომიდის ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$) ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად მიღებული პროდუქტიდან ყველაზე შესწავლილ რეაქციას წარმოადგენს:



ნეიტრონების მიტაცების შედეგად ძლიერ აგზნებულმა ბრომმა ($^{80}\text{Br}_{35}^*$) ჰარბი ენერგია შეძლება გამოყოფს γ -კვანტების სახით ორ სხვადასხვა დონეზე გადასვლით. ერთი, იგი ჰარბ ენერგიას გამოყოფს ოთხი γ -კვანტის გამოსხივებით და უბრუნდება ძირითად დონეს, ე. ი. $^{80}\text{Br}_{35}$, მერე კი, — ატომბირთვი გარდაიქმნება β^- — ნაწილაკის გამოსხივებით ($T = 18$ წთ). მეორე პროცესი წარიმართება ორი γ -კვანტის გამოსხივებით და ბრომის აგზნებული ატომბირთვი გადადის მეტასტაბილურ დონეზე, ე. ი. $^{80m}\text{Br}_{35}$.

მეტასტაბილური მდგომარეობის ნახევრად დაშლის პერიოდი $T = 4,5$ სთ, რომლიდან გამოყოფილი ენერგია დაახლოებით უდრის 0,01 ელემენტრონვოლტს, ე. ი. ეს ენერგია თბური, რხევითი ენერგიის ტოლია. რა თქმა უნდა, ასეთი მცირე ენერგია არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ ახალმა ატომმა დატოვოს მოლეკულა. ამიტომ γ კვანტების გამოსხივებით მეტასტაბილურ მდგომარეობიდან ძირითად მდგომარეობაზე გადასვლას თან ახლავს შინაგანი კონვერსიაც. საერთო ჯამში ატომი განიცდის მრავალჯერად იონიზაციას და „ამოიტყორც-

ნება“ დედისეული მოლეკულიდან. ამრიგად, ნეიტრონებით დაბომბილი ნაერთის მოლეკულების დაშლა და მისგან რადიაქტიური ატომების ამოტყორცნა წარმოებს ატომ-გაცემისა და გამა-გამოსხივებისას მიმდინარე შინაგანი კონვერსიით.

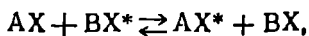
ნეიტრონებით დაბომბილ ეთილ-ბრომიდს გარკვეული რაოდენობის კალიუმ-ბრომიდს უმატებენ, როგორც სარჩულ რეაქტივს, და შემდეგ ბრომს გამოაზნარებენ წყლით, საბოლოოდ კი გამოყოფენ $AgBr$, სახით, რომელიც წარმოადგენს ორი, $^{80m}Br_{35}$ და $^{80}Br_{35}$ იზოტოპების ნარევს. ამით მთავრდება იზომერის გაზიდვების პირველი საფეხური. შემდეგ, ნალექს აყენებენ 3 საათით $^{80}Br_{35}$ -სათვის $10T = 180$ წთ), რა დროსაც $^{80}Br_{35}$ დაიშლება და რჩება მხოლოდ $^{80m}Br_{35}$ და მასთან წონასწორობაში მყოფი, მეორადი წარმონაქმი $^{80}Br_{35}$.

თუ რადიაქტიურ ბრომს ხელახლა შევიტანთ ორგანულ გამხსნელში, მაშინ, მეორეჯერ გაზიდვების შემდეგ, $^{80m}Br_{35}$ -დან წარმოქმნილი $^{80}Br_{35}(T = 18$ წთ) სეუთა სახით ამოიტყორცნება ორგანულ ფაზიდან გამა-კვანტების კონვერსიას წყალობით. ორგანულ ფაზაში კი მხოლოდ $^{80m}Br_{35}$ რჩება. ძირითადად ასე წარმოებს სხვა იზომერების განცალკევება. თუ ლითონის იზომერებთან გვაქვს საქმე, მაშინ იყენებენ ორგანულ კომპლექსწარმომქმნელს.

საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ ორგანული გამხსნელებით ამოწვლილვის ხერხს სარჩულ რეაქტივების, კომპლექსწარმომქმნელებისა და სხვ. გამოყენებასთან შედარებით ის უპირატესობა აქვს, რომ ორგანული გამხსნელის მოცილება ადვილია დაწვით და მხოლოდ სუფთა რადიაქტიური იზოტოპი გვრჩება.

11. იზოტოპური მიმოცვლის რეაქციები. რადიაქტიური იზოტოპების გამოყოფის შემდეგ ისინი აუცილებელია გადაყვანილი იქნენ ქიმიურ ნაერთში. ჩვეულებრივი ქიმიური ხერხები ამ მიზნისათვის გამოუსადეგარია, რადგან რთული და მრავალრიცხოვანი ოპერაციების შედეგად შესაძლებელია რადიაქტიური იზოტოპები სტაბილური იზოტოპებით (სარჩულით) იმდენად განზავდეს, რომ საბოლოო პროდუქტი დაბალი აქტივობისა აღმოჩნდეს.

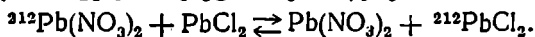
აქტიური ხსნარი მიიღება იზოტოპური მიმოცვლის რეაქციის საშუალებით, ე. ი. ისეთი რეაქციისა, რომლის დროსაც რომელიმე ნივთიერების მოლეკულაში შემცველი სტაბილური ატომი მიმოცვლება ამავე ელემენტის რადიაქტიური ატომის იზოტოპით. თუ მიმოცვლის რეაქცია მიმდინარეობს დისოცირებულ ნაერთთა ურთიერთმოქმედებით (იონთა მიმოცვლა), მაშინ ყოველგვარი წინააღმდეგობის გარეშე, მარტივად მიმდინარეობს დისოცირებული იონების მიმოცვლა:



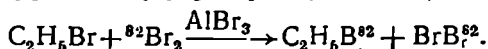
სადაც X^* წარმოადგენს რადიოაქტიურ ატომს, რომელიც AX და BX^* ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედებისას მიმოიცილება X ატომთან.

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითები:

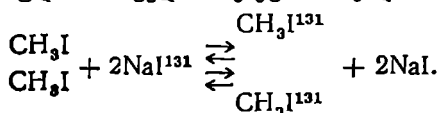
1) ავიღოთ სარეაქციო ჭურჭელში რადიოაქტიური ტყვიის ($^{212}\text{Pb}_{82}$) შემცველი ტყვიის ნიტრატის ხსნარი და დაეუმატოთ ტყვიის ქლორიდი. ნარევეს გავახურებთ PbCl_2 მთლიან გახსნამდე. გაცივების შემდეგ მივიღებთ ტყვიის ქლორიდის კრისტალებს, რომლებიც რადიოაქტიური იქნება. სქემატურად მიმოცვლის რეაქცია ასე ჩაიწერება:



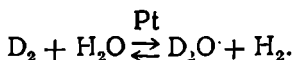
2) რადიოაქტიური ბრომის ($^{82}\text{Br}_{35}$, $T = 34$ სთ) შემცველი ეთილბრომიდის მიღებისას AlBr_3 -ის, როგორც კატალიზატორის, თანდასწრებისას $\text{C}_2\text{H}_6\text{Br}$ -ის რადიოაქტიურ ბრომთან შეხებისთანავე დაიწყება მიმოცვლის რეაქცია, რომელიც საკმაოდ სწრაფად მიმდინარეობს:



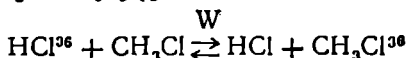
3) რთული მიმოცვლის რეაქციის მაგალითს წარმოადგენს:



4) მძიმე წყალი (D_2O) ადვილად მიიღება პლატინა კატალიზატორის თანდასწრებისას შემდეგი რეაქციის თანახმად:



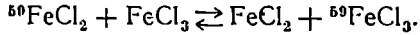
5) აირის ფაზაში იზოტოპური მიმოცვლა მიმდინარეობს კატალიზატორის ზედაპირზე. მაგალითად, ქლორწყალბადისა და მეთილქლორიდის ურთიერთმოქმედება:



6) სხვადასხვა ვალენტოვან ელემენტებს შორის იზოტოპური მიმოცვლის რეაქციის მაგალითად განვიხილოთ ორი და სამვალენტოვანი რკინის ქლორიდებს შორის მიმდინარე მიმოცვლის იზოტოპური რეაქცია, სადაც ორვალენტოვანი რკინა წარმოადგენს რადიოაქტიურ ($^{59}\text{Fe}_{26}$) ელემენტს.

ავიღებთ სარეაქციო ჭურჭელში ორვალენტოვან რადიოაქტიურ რკინის ($^{59}\text{Fe}_{26}$) ქლორიდის მარილმჟავას ხსნარს, დაეუმატებთ სამვალენტოვან რკინის ქლორიდს. გარკვეულ დროის გავლის შემდეგ ვა-

ტარებთ მიმოცვლის რეაქციაში მონაწილე იზოტოპების განცალკევებას FeCl_3 -ის იზოპროპილის ეთერით ექსტრაქციის ხერხით. რეაქცია საკმაოდ სწრაფად მიმდინარეობს, რაშიც გვარწმუნებს ექსტრაქტის აქტივობის გაზომვა. ეს ამავე დროს გვარწმუნებს იმაშიც, რომ მართლა მოხდა იზოტოპური მიმოცვლის რეაქცია, შემდეგი სქემის მიხედვით:



ამჟამად მრავალი იზოტოპური მიმოცვლის რეაქციებია დამუშავებული და გამოყენებული რადიოქიმიის პრაქტიკაში.

რადიაქტიური ელემენტების ჰიშია

ქიმიური ელემენტებისა და მათი ნაერთების ქიმიური თვისებების შესწავლას აქვს დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. ჩვეულებრივად ამ საკითხის შესწავლა იწყება სუფთა სახის ელემენტებისა და მათი ნაერთების მიღებით.

გაუმჯობესებული და ახალი მეთოდების გამოყენებით მიღწეულია ელემენტებისა და მათი ნაერთების სუფთა და უსუფთავესი სახით მიღება.

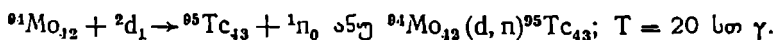
ცნებები „სუფთა“ და „უსუფთავესი“ რადიაქტიური ელემენტების მიმართ პირობითია, რადგან რადიოქიმიკაში ამ მხრივ სიძნელებთან გვაქვს საქმე. ეს იმიტომ, რომ რადიაქტიური ელემენტები თანდათანობით განიცდიან გარდაქმნას და ყოველ მოცემულ მომენტში ისინი წარმოადგენენ გამოსავალი ელემენტისა და დაშლის პროდუქტების ნარევეს. ამიტომ პრინციპულად არ შეიძლება, მაგალითად, სუფთა ლითონური თორიუმი სუფთა სახით იქნეს შენახული (დაცული) ზანგრძლივი დროით, რადგან ამ ხნის მანძილზე სუფთა ლითონურ თორიუმისაგან აუცილებლად წარმოიქმნება მისი დაშლის პროდუქტები. მართალია, დაშლის ეს პროდუქტები დიდი სიცოცხლის უნარის მქონე ($T=13 \cdot 10^{10}$ წ) თორიუმთან შედარებით უმნიშვნელოა და თორიუმის თვისებების შესწავლის დროს შეიძლება მხედველობაში არც მივიღოთ, მაგრამ მცირე სიცოცხლის მქონე რადიოელემენტები ყოველთვის იმყოფებიან მათ ნაშიერ ელემენტებთან წონასწორულ მდგომარეობაში, მაგალითად, ზემოგანხილული თორონი $ThEm$ და ThA ($^{216}Po_{84}$). თორონისათვის ($ThEm$) $T=54,5$ წმ. თორიუმის ნაშიერი ელემენტისათვის ThA ($^{216}Po_{84}$) კი $T=0,158$ წმ. ამიტომ ისინი მუდამ წონასწორულ მდგომარეობაში იმყოფება და მათი ცალ-ცალკე სუფთა სახით გამოიყოფა და შენახვა მიუღწევებელია. შედარებით ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ელემენტები შეიძლება გამოყოფილი და გარკვეული

დროით შენახული იქნეს სუფთა სახით, მოცემული რადიოელემენტის სპექტრის დაშლის შესწავლის მიზნით და სხვ. მაშასადამე, რადიოქიმი-აში საქმე გვაქვს არა ქიმიურად სუფთა ელემენტებთან, არამედ რადი-ოქიმიურად სუფთა ელემენტებთან.

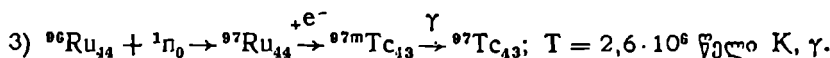
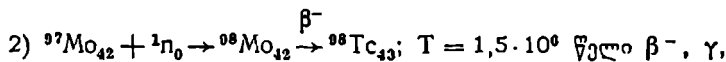
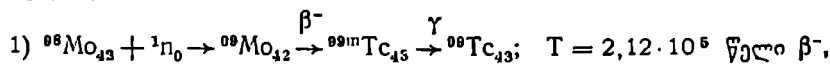
ტექნეციუმი (Tc), Z=43

1871 წ. დ. ი. მენდელეევი იწინასწარმეტყველა 43 ატომური ნომრის მქონე ელემენტის არსებობა და მას „გკა-მანგანუმი“ უწოდა. ბირთვული ფიზიკის მონაცემების თანახმად, ტექნეციუმის სტაბილური იზოტოპი ბუნებაში არ უნდა არსებობდეს. მისი რადიოაქტიური იზო-ტოპები უმნიშვნელო რაოდენობით გვხვდება დედამიწის ქერქში რე-ნიუმის შემცველ მინერალებთან ერთად. ბუნებაში მყოფი ტექნეცი-უმის წარმოქმნა განუწყვეტლივ უნდა მიმდინარეობდეს დედამიწის ქერქში; მიმდინარე ბირთვული პროცესების შედეგად, კერძოდ ურან-238-ის სპონტანური დაყოფის შედეგად, რაც დასტურდება ურანის ფისებში მისი 3.10^{-13} გ Tc არსებობით.

ტექნეციუმი 1937 წელს პერე მ და სეგრე მ მიიღეს მოლიბდენის დეიტონებით ბომბარდირების შედეგად:



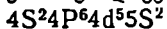
აქედან მისი სახელწოდება — ტექნეციუმი (ბერძნ. technetos — ხე-ლოვნური). ამის შემდეგ იგი მიღებული იქნა სხვადასხვა ბირთვული რეაქციების საშუალებით:



ტექნეციუმ-99-ის ატომური წონა მას-სპექტრომეტრით განსაზღვ-რული უდრის 98,882, β-გამომსხივებელია, Eβ=0,290 მევ. ტექნეციუმ-98-იც β-გამომსხივებელია, Eβ=0,8.10⁻¹³ ჯოული—0,3 მევ. ტექ-ნეციუმ-97 უკანასკნელ ხანს იქნა გამოყოფილი ასაწონ რაოდენო-ბით ურანის ბირთვის ნახლეჩ პროდუქტებიდან და მის საფუძველ-ზე შეისწავლეს ტექნეციუმის ქიმიური თვისებები. ნახლეჩი პროდუქ-ტებიდან არის გამოყოფილი აგრეთვე 101—105, 107 და 108 მასის მქო-ნე ტექნეციუმის იზოტოპები. დღეისათვის ტექნეციუმის 20-ზე მეტი იზოტოპია ცნობილი.

ტექნეციუმში ელემენტთა პერიოდული სისტემის VII ჯგუფში მან-განუმსა და რენიუმს შორის არის მოთავსებული. ის თავისი ქიმიური თვისებებით უფრო რენიუმს ემსგავსება, ვიდრე მანგანუმს, დაბალი ვალენტოვანი ნაერთების გამოკლებით. დაბალ ვალენტოვან ნაერთებში კი იგი უფრო მანგანუმს ემსგავსება, რუთენიუმთანაც ამჟღავნებს მსგავსებას. ახასიათებს 1-დან 7-მდე ვალენტოვნობა. ამთგან უფრო მტკიცეა 6 და განსაკუთრებით კი 7.

ტექნეციუმის K, L და M ელექტრული გარსები შეესაბამება. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



ტექნეციუმის შვიდვალენტოვანი ნაერთებიდან ცნობილია: ტექნეციუმ-შვიდვანგი Tc_2O_7 , სულფიდი Tc_2S_7 , პერტექნატკალი $KTcO_4$, პერტექნატამონიუმი NH_4TcO_4 , რომელიც თეთრი კრისტალური მარილია: ეს ორივე მარილი წარმოადგენს პერტექნეციუმმეყავს ($HTcO_4$) მარილს. ტექნეციუმის სულფიდზე ატომარული ქლორის მოქმედებით მიიღება მისი აქროლადი ქლორიდი $TcCl_7$. ამ ხერხით წარმოებს მისი გამოყოფა მასთან მყოფი სხვა ელემენტებისაგან. უწყლო $HTcO_4$ მუქ-ყვითელი ფერისაა, TcO_4^- რადიკალი (ანიონი) ხსნარში უფერული და მდგრადია Tc/TcO_4^- წყვილის ნორმალური პოტენციალი უდრის 0,47 ვოლტს. მიღებულია ტექნეციუმის ექვსი და ხუთვალენტოვანი მყარი ნაერთები: TcF_6 , $TcCl_6$, $TcOCl_3$ და $TcOBr_3$. ექვსვალენტოვანი ტექნეციუმის ნაერთების არსებობა ჯერ კიდევ სადავოა.

ტექნოციუმის ოთხვალენტოვანი ნაერთებიდან ცნობილია: TcO_2 , TcS_2 და $TcCl_4$, კომპლექს მარილებიდან ექვსქლორტექნეტატი K_2TcCl_6 . ამ კომპლექს მარილში, და საერთოდ, Tc^{4+} იონის რადიუსი უდრის 0,70 Å.

წყალხსნარებში მაღალი ვალენტობის ტექნეციუმის დაბალ ვალენტოვნობამდე გადაყვანას აწარმოებენ ძლიერი აღმდგენლებით. მაგალითად, ოთხვალენტოვანი ტექნეციუმის ორვალენტოვნად გადაყვანას აწარმოებენ ჰიდროქსილამინით ან $SnCl_2$ -ით აღდგენის საშუალებით.

ლითონური ტექნეციუმის მიღება ურანის ნახლეჩი პროდუქტებიდან ტექნეციუმს იონმიმოცვლის ხერხით გამოყოფენ ანიონიტებზე, შემდეგ კი ექსტრაჰირებას ახდენენ დამეთილპირიდინით და ექსტრაქტიდან გადაპყავთ პერტექნეტატამონიუმში. მოლიბდენ და რენიუმს ამორებენ ორჯანული გამხსნელებით ან ელექტროფორების საშუალებით. მას ღებულობენ აგრეთვე ელექტროლიზური ხერხით — პლატინის ელექტროდზე ელექტროლიზური დალექვის ხერხით. ლითონური ტექნეციუმი მიიღება აგრეთვე მისი სულფიდის 1100° -ზე

წყალბადით აღდგენით, ხოლო შემდეგ კი 800°-ზე გახურებით, ლითონური ტექნეციუმი რუხი ფერის ფოროვანი ლითონია, ტენიან ჰაერში ნელა მქრქალდება, კუთრი წონა $\approx 11,5$, ლღობის ტემპერატურა $\approx 2150,^{\circ}$ მარილმჟავაში, წყალბადის ზეჟანგისა და ამონიუმის ჰიდროქანგის ნარევიში ხსნადია.

პერტექნატატი ითვლება ფოლადის კოროზიის ეფექტურ ინჰიბიტორად.

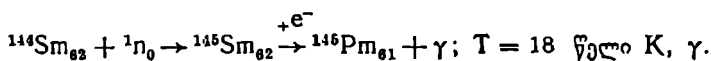
პ რ ო მ ე თ ი უ მ ი (Pm), Z=61

1902 წ. ბ. ბრავნერმა აღნიშნა 61 ატომური ნომრის მქონე ელემენტის არსებობის აუცილებლობა. მრავალი მკვლევარი ხანგრძლივად და ენერგიულად ეძიებდა 61 ატომური წონის მქონე ელემენტს იშვიათ მიწათა ელემენტების (ლათანიდების) შემცველ მინერალებში, როგორც მის ერთ-ერთ წევრს. მაგრამ კვლევა-ძიება უნაყოფო აღმოჩნდა. იგი აღმოჩენილი იქნა ურანის ნახლეჩ პროდუქტებში, რომლიდან გამოყოფილია ორი ახალი იზოტოპი პრომეთიუმ-147 და პრომეთიუმ-149. პრომეთიუმი ეწოდა კო რ ი ე ლ ი ს წინადადებით ზღაპრული პრომეთეს პატივსაცემად, რომელმაც თითქოს ღმერთს მოსტაცა ცეცხლი და მისცა ხალხს.

პრომეთიუმი ხელოვნურად 1938 წელს იქნა პირველად მიღებული ნეოლიმის დეიტონებით ბომბარდირების შედეგად:

- 1) $^{148}\text{Nd}_{80} + ^2\text{d}_1 \rightarrow ^{149}\text{Pm}_{61} + ^1\text{n}_0$ ანუ $^{148}\text{Nd}_{80}(\text{d}, \text{n})^{149}\text{Pm}_{61}$; T = 53 სთ β^- , γ . შემდეგ პრომეთიუმის იზოტოპები მიღებულ იქნა ჩქარი პროტონების, ალფა-ნაწილაკებისა და ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად:
- 2) $^{146}\text{Nd}_{80} + ^1\text{P}_1 \rightarrow ^{146}\text{Pm}_{61} + ^1\text{n}_0$ ანუ $^{146}\text{Nd}_{80}(\text{P}, \text{n})^{146}\text{Pm}_{61}$; T = 1,9 წელი β^- - γ .
- 3) $^{150}\text{Sm}_{82} + ^1\text{n}_0 \rightarrow ^{150}\text{Pm}_{61} + ^1\text{P}_1$ ანუ $^{150}\text{Sm}_{82}(\text{n}, \text{p})^{150}\text{Pm}_{61}$; T = 2,7 სთ β^- , γ .
- 3) $^{141}\text{Pr}_{59} + \alpha \rightarrow ^{143}\text{Pm}_{61} + 2^1\text{n}_0$ ანუ $^{141}\text{Pr}_{59}(\alpha, 2\text{n})^{143}\text{Pm}_{61}$; T = 280 დღე K, γ .

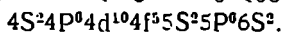
დღეისათვის ცნობილი ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლისუნარიანი პრომეთიუმ-145 მიღებულ იქნა სამარიუმ-144-ის ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად. მიღებული სამარიუმ-145 ელექტრონის ანუ K-მიტაცებით გარდაიქმნება პრომეთიუმ-145, რომელიც თავის მხრივ ელექტრონისვე მიტაცებით გარდაიქმნება სტაბილურ ნეოლიმ-145-ად. ეს რეაქცია ასე მიმდინარეობს:



პრომეთიუმი, როგორც იშვიათ მიწათა ელემენტების ერთ-ერთი წევრი, მათ მსგავსად თავის ნაერთებში სამვალენტოვანია. სინთეზირებულია პრომეთიუმ-ქლორიდი $PmCl_3$ —ყვირელი ფერისა, და ნიტრატი $Pm(NO_3)_3$ —ვარდისფერი მარილი.

ამჟამად პრომეთიუმი ლაბორატორიებში მილიგრამობით არის მიღებული, რამაც საშუალება მისცა მეცნიერებს შეესწავლათ მისი სპექტრი და ამის საფუძველზე დაედგინათ მისი ელექტრონული გარსის აღნაგობა.

პრომეთიუმის K, L და M ელექტრონული გარსები შევსებულია. პრომეთიუმის გარე გარსის აღნაგობა შემდეგია:



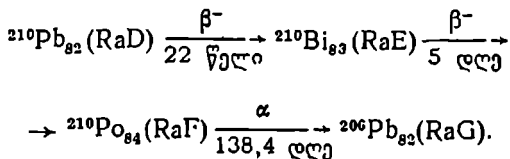
პრომეთიუმის (Pm^{3+}) იონის რადიუსი განსაზღვრული ექსტრაპოლაციით უდრის $0,979 \text{ \AA}$. უნდა შევნიშნოთ, რომ უმნიშვნელო რაოდენობა პრომეთიუმისა, რომელიც აღმოჩენილია ურანის მადანში, შეიძლება იყოს არა ურან-238-ის სპონტანური დაყოფის შედეგი, არამედ ნეოდიმის და სამარიუმის ურანში მოხეტიალე ნეიტრონებით ან კოსმოსური სხივების ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგი.

პ ო ლ ო ნ ი უ მ ი (Po). $Z=84$

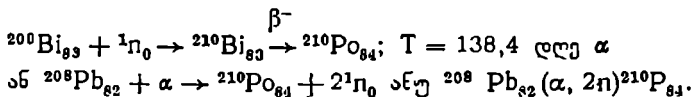
ელემენტა პერიოდული სისტემის VI ჯგუფის ა-ქვეჯგუფის უკანასკნელი ელემენტი პოლონიუმი რადიაქტიურ ლითონს წარმოადგენს. მისი პოლონიუმ-210 იზოტოპი პირველად მარია და პიერ კიურიმ 1898 წ. აღმოაჩინეს ურანის მადანში. ბუნებაში პოლონიუმი უმნიშვნელო რაოდენობით მოიპოვება. დედამიწის ქერქში მისი შემცველობა უდრის $3 \cdot 10^{-11}\%$, ურანის მადანში კი $7,6 \cdot 10^{-7} \text{ გ/გU}$ რადიაქტიური წონასწორობის პირობებში, ანუ ურანის მადნის ყოველ 1 ტონა შეიცავს 0,1 მკ პოლონიუმს. იგი გვხვდება აგრეთვე დაწვლულ ავტო-ლეზში შენახულ რადიუმის ძველ პრეპარატებში, როგორც მისი დაშლის პროდუქტი. პოლონიუმ-210 ალფა-გამომსხივებელია და ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა ბუნებრივი პოლონიუმის სხვა იზოტოპებთან. მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=138,4$ დღეს. დანარჩენები $Po^{211}(AcC')$, $Po^{212}(ThC')$, $Po^{214}(RaC')$, $Po^{215}(AcA)$, $Po^{216}(ThA)$ და $Po^{218}(RaA)$ მცირე სიცოცხლის მქონე იზოტოპებია.

რადგან ურანის მადანში პოლონიუმის უმნიშვნელო რაოდენობითაა (0,1 მკ 1 ტონა მინერალში), თავისუფალი პოლონიუმის გამოყოფა დიდ სიძნელესთან იყო დაკავშირებული, რაც პირველად გადალახეს მ. და პ. კიურებმა. მათ მთელი რიგი შრომატევადი ოპერაციების ჩატარების შემდეგ მიაღწიეს ბისმუტის ფრაქციასთან ერთად პოლონი-

უმის კონცენტრირებას. შემდეგ კი ბისმუტისა და პოლონიუმის შემცველ მყავე ფრაქციის ზსნარში გოგირდწყალბადის გატარებით ისინი გადაიყვანეს სულფიდებში. პოლონიუმის სულფიდი უფრო აქროლადი აღმოჩნდა, ვიდრე ბისმუტისა. ამან მათ ხელი შეუწყო ბისმუტის სულციდიდან გამოყოფით პოლონიუმის სულფიდი ვაკუუმ-აქროლადობის ხერხით. შემდეგში დადგინდა ურან-რადიუმის მწყვირეში პოლონიუმის წარმოქმნა, რომლის დაშლა საბოლოოდ მთავრდება სტაბილური ტყვიის მიღებით.



მაშასადამე, მცირე რაოდენობით პოლონიუმ-210-ის მიღება შეიძლება როგორც ურანის მადნიდან, ისე უფრო მარტივად ურანის მადნის გამამუშავების რადიოქტიური ნარჩენებიდან. მაგრამ ორივე ხერხი რთული და შრომატევადი ოპერაციების მომთხოვნია. ამიტომ ამჟამად პოლონიუმის იზოტოპებს ხელოვნურად დებულობენ ბირთვულ რეაქტორებში მილიგრამობით. პოლონიუმ-210 კი შემდეგი ბირთვული რეაქციის თანახმად მიიღება:



დღემდე ცნობილ პოლონიუმის იზოტოპებს შორის ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის (103 წელი ნახევრად დაშლის პერიოდის) მქონე პოლონიუმ-209 იზოტოპი მიღებულ იქნა ბისმუტ-209 დეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად:



თავისუფალი პოლონიუმის მიღება უფრო ეფექტურია და მოხერხებული რადიოქტიური ტყვიიდან და ბისმუტიდან (RaD და RaE).

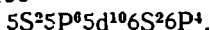
აღნიშნული გამოსავალი ნივთიერებებიდან პოლონიუმის გამოყოფის სხვადასხვა ხერხიდან უფრო მარტივ ხერხად ითვლება ელექტროქიმიური მეთოდი. ელექტროქიმიური მეთოდით პოლონიუმის მიღებისათვის იღებენ $^{210}\text{Pb}_{82}(\text{RaD})$ -ის 0,1 N მარილმყავას ზსნარს, მასში ჩაუშვებენ ვერცხლის ფირფიტას და აყოვნებენ (აჩერებენ) დაახლოებით 1 წელი, რომლის განმავლობაში პოლონიუმი გამოიყოფა ვერცხლის ფირფიტაზე. შემდეგ მას (ე. ი. ფირფიტას და მასზე გამოყოფილ პოლონიუმს) ზსნარს აზოტმყავაში, ვერცხლს კი ლეკავენ მარილმყავით

AgCl-ის სახით, ხსნარში კი მხოლოდ პოლონიუმ-210 რჩება. პოლონიუმში შეიძლება მიღებულ იქნას აგრეთვე $^{210}\text{Pb}_{82}(\text{RaD})$ — რადიოაქტიური ტყვიის 0,01 N მარილმჟავას ხსნარიდან წყალბადით გაყენებით ან აღმდგენლების (ქინონის ან ჰიდროქინონის) მონაწილეობით პლატინის ზედაპირზე გამოყოფის გზით.

უდენოთ პოლონიუმის გამოყოფის აღნიშნული მეთოდების გარდა რადიოაქტიური ტყვიიდან და ბისმუტიდან შეიძლება გამოვეყოთ პოლონიუმში გარე ელექტროლიზის ზერხით პლატინის კათოდზე, მათი ძმარმჟავას ხსნარიდან. დენის ძალა უნდა იყოს 4 მილიამპერ/სმ². ბისმუტი და ტყვია ელექტროდენის ასეთი ძალის პირობებში არ გამოიყოფა; მათი გამოყოფისათვის გაცილებით მეტი დენის ძალაა საჭირო. ელექტროლიზური ზერხით პოლონიუმში შეიძლება გამოიყოს აგრეთვე ნიკელის კათოდზე, რის შემდეგ ნიკელისაგან პოლონიუმის შოცილებას აწარმოებენ სუბლიმაციის ზერხით ვაკუუმში 1000⁰-ზე გახურებით — პლატინის ფოლგის ზედაპირზე სუბლიმირებით; ამ ზერხით მიიღება ძალიან სუფთა პოლონიუმი. პოლონიუმის ელექტროლიზური გამოყოფის მეთოდს იყენებენ ბისმუტისა და ტყვიის ძირითადი მინარევეების წინააწარმ გასუფთავების შემდეგ. პოლონიუმის გამოყოფის სხვა მეთოდებიდან აღსანიშნავია ვაკუუმ-აქროლადობის ზერხი, რა დროსაც მათი სულფიდებიდან პოლონიუმის სულფიდის აქროლადობა მიმდინარეობს 500⁰-ზე, ერთ ატმოსფერულ წნევას პირობებში კი — 900⁰-ზე. პოლონიუმის გამოსავალი უდრის 99%-ს. გარდა აღნიშნულისა, პოლონიუმის ექსტრაპირებას აწარმოებენ ტრიბუტილფოსფატით მჟავე არეში (7—9 N მარილმჟავიან არეში), რომლის დროსაც ნაწილობრივ ბისმუტიც გადადის ორგანულ ფაზაში. ორგანული ფაზიდან ბისმუტი ამოიწვლავლება 6 N მარილმჟავით, პოლონიუმი კი მხოლოდ კონცენტრული აზოტმჟავით.

ამჟამად ბუნებრივი და წელიწადური პოლონიუმის 23-ზე მეტი რადიოაქტიური იზოტოპია ცნობილი.

დადგენილია პოლონიუმის ელექტრული გარსის აღნაგობა. პოლონიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შევსებულია. გარე გარსის აღნაგობა კი შემდეგია:



არჩევენ პოლონიუმის ორ მოდიფიკაციას — კუბიკური გისოზის მქონე α-პოლონიუმს და რომბოედრული გისოზის მქონე β-პოლონიუმს; ერთმანეთში მათი გადასვლის ტემპერატურა უდრის 36⁰.

პოლონიუმი ერთ-ერთი ძლიერი კოლოიდწარმოქმნელი ელემენტია, ამავე დროს ადვილად შთაინთქმება მინითაც. ამიტომ ჭურჭლის

კედლებით მისი აღსორბირების თავიდან აცილების მიზნით ხსნარას შეავიანობა, რომელშიც პოლონიუმი იმყოფება, უნდა იყოს არანაკლებ 2 ნორმალობისა.

მიუხედავად იმისა, რომ პოლონიუმს ასაწონ რაოდენობით ლებულობენ, მკვლევარები მაინც მის მიკროკონცენტრულ ხსნარზე მუშაობენ, იმიტომ, რომ პოლონიუმი ძალიან მაღალი ენერჯის—5,3 მე ვ მქონე ალფა-გამომსხივებელია. ამიტომ მასთან მუშაობა და კონტაქტი მეტისმეტად საფრთხილოა. მაგრამ პოლონიუმი, როგორც მაღალი ენერჯის მონოქრომატული ალფა-გამომსხივებელი, მაინც ხშირად გამოიყენება რადიოქიმიაში სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოთა შესასრულებლად და აგრეთვე ბირთვულ ფიზიკაში.

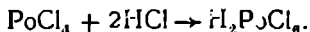
პოლონიუმის ძირითადი ნაერთები. მეავე არეში პოლონიუმი ძირითადად ოთხვალენტოვანი კათიონის (Po^{4+}) სახით იმყოფება. მისთვის ძირითადად ოთხვალენტოვნობაა დამახასიათებელი. ექვსვალენტოვანი პოლონიუმის მარტილი მიიღება მხოლოდ მიკროკონცენტრაციის შემთხვევაში. მაგალითად, $K_2PoO_4 \cdot 3H_2O$, ხოლო მაკროკონცენტრაციის შემთხვევაში ასეთი ნაერთები არ მიიღება, რადგან მის აღდგენას იწვევს მისივე ინტენსიური ალფა-გამომსხივება. ორვალენტოვანი პოლონიდებიც მხოლოდ მიკროკონცენტრაციის შემთხვევაში მიიღება. მიღებულია აგრეთვე ძალიან არამდგრადი სამვალენტოვანი პოლონიუმის ნაერთებიც. თავისი ქიმიური თვისებებით პოლონიუმი ემსგავსება ტელურს. ოთხვალენტოვანი პოლონიუმი ტელურის ჰომოლოგია ($(NH_4)_2M^{+}Cl_6$ ტიპის ნაერთებთან $(NH_4)_2PoCl_6$; $(NH_4)_2PbCl_6$; $(NH_4)_2TeCl_6$ და სხვ. და იზომორფულია. ხსნარში ოთხვალენტოვანი პოლონიუმი ადვილად წარმოქმნის კომპლექსურ იონს ექვსი საკოორდინაციო რიცხვით.

ტეტრაქლორიდი მიიღება ლითონური პოლონიუმისა და ქლორის ერთად გახურებით ან პოლონიუმის ორჟანგისა და მარილმჟავას ურთიერთმოქმედებით, პოლონიუმის ორჟანგი კი მიიღება ლითონური პოლონიუმის გახურებით ჟანგბადის არეში 250° -ზე. მთელი პროცესი შემდეგი სახით მიმდინარეობს:

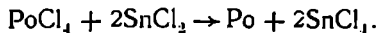
- 1) $Po + O_2 \rightarrow PoO_2$,
- 2) $PoO_2 + 4HCl \rightarrow PoCl_4 + 2H_2O$,
- 3) $Po + 2Cl_2 \rightarrow PoCl_4$.

მიღებული პოლონიუმ-ტეტრაქლორიდი — $PoCl_4$ ღია ყვითელი ფერისაა; ანალოგიურად მიიღება წითელი ფერის ტეტრაბრომიდიც — $PoBr_4$. ხოლო ყვითელი ფერის ნიტრატი — $Po(NO_3)_4$ მათთან შედარებით ნაკლებად ხსნადია. აღსანიშნავია, რომ თუ ხსნარში პოლონიუმ-

ტეტრაქლორიდის მიღებისას მარილმკვავა ჰარბად იქნა აღებული, მაშინ მიიღება ჰექსაქლორპოლონიუმმკვავა:

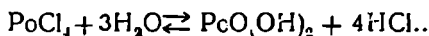


ჰექსაქლორპოლონიუმმკვავას მარილები— M_2PoCl_6 (სადაც M—ჩვეულებრივად ამონიუმის იონია ან ტუტე ლითონებია), $(\text{NH}_4)_2\text{Po}_6\text{R}_6$ და სხვ. მყარ მდგომარეობაშია ცნობილი. პოლონიუმტეტრაქლორიდი ტეტრატელურის ანალოგიურად SnCl_2 -ის მოქმედებით აღდგება ლითონურ პოლონიუმად:



აღმდგენლად შეიძლება გამოვიყენოთ ჰიდრაზინი, ტუტე არეში კი— TiCl_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$.

ოთხვალენტოვანი პოლონიუმის ნაერთები ნეიტრალურ და სუსტ ტუტე არეში ჰიდროლიზს განიცდიან ძნელად ხსნადი ჰიდროქსიდის $\text{PoO}(\text{OH})_2$ -ის წარმოქმნით.



პოლონიუმის ჰიდროქსიდი ძლიერ ტუტეში ხსნადია. მაგალითად, 5 N ნატრიუმის ტუტესთან ურთიერთმოქმედებისას ნატრიუმ-პოლონატს— Na_3PoO_3 წარმოქმნის, მკვავებთან კი—მარილებს: $\text{PoO}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Po}(\text{SO}_4)_2$ და ა. შ.

სამვალენტოვანი ნაერთები. პოლონიუმის სამვალენტოვანი ნაერთები მიიღება ოთხვალენტოვანი ნაერთების აღდგენით. მაგალითად, Po_2S_3 სულფიდი მიიღება ოთხვალენტოვანი პოლონიუმის მარილების ზოგიერდწყალბადით აღდგენის საშუალებით:

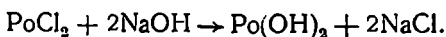


პოლონიუმის ორვალენტოვანი ნაერთები. ორვალენტოვანი პოლონიუმის მრავალი ნაერთია ცნობილი: პოლონიუმის ორქლორიდი — PoCl_2 — მუქი წითელი ფერის მყარი ნივთიერებაა, მიიღება PoCl_4 -ის თერმული დაშლით ვაკუუმში ან აზოტის ატმოსფეროში 190°-ზე სუბლიმაციის ზერხით. პოლონიუმის ორბრომიდი — PoBr_2 — მეწამული ყავისფერი კრისტალური ნივთიერებაა, მიიღება გოგიერდწყალბადის გატარებით პოლონიუმ-ორბრომიდის წყალხსნარში ან ჰიდრაზინით აღდგენის საშუალებით:

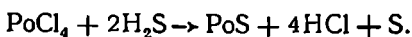


პოლონიუმის ყანგი— PoO —მიიღება ზოგიერთი ოთხვალენტოვანი პოლონიუმის სპონტანური დაშლით. იგი შავი ფერის კრისტალური ნივთიერებაა. ორვალენტოვანი პოლონიუმის ჰიდროქსიდი— Po

(OH)₂— მიიღება მუქი ყავისფერი ნალექის სახით, ახლად დამზადებული პოლონიუმ-ორქლორიდის მარილმკვავას ხსნარზე ტუტის მოქმედებით:



Po(OH)₂ ჰაერზე სწრაფად იყვანება ოთხვალენტოვანი ნაერთის წარმოქმნით. ორვალენტოვანი პოლონიუმის სულფიდი — PoS — მყარი ნალექის სახით მიიღება პოლონიუმის ორქლორიდის 10⁻³ მოლარულ ხსნარში გოგირდწყალბადის გატარებით:

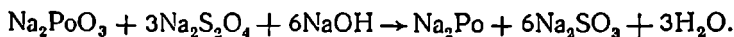


პოლონიუმის ჰიდრიდი მიიღება პოლონიუმის ორქლორიდისა და მაგნიუმის ფხვნილის ურთიერთმოქმედებისას მარილმკვავა არეში:



ტელურის ჰიდრიდის მსგავსად, პოლონიუმის ჰიდრიდი PoH₂ აქროლადია. იგი ბისმუტის ჰიდრიდთანაც დიდ მსგავსებას იჩენს, მაგრამ გაცილებით ნაკლებ მდგრადია. თავისუფალი პოლონიუმის ჰიდრიდი ოთახის ტემპერატურაზედაც სწრაფად იშლება.

პოლონიუმ-წყალბადმკვავას H₂Po მარილები მიიღება VI ა-ქვეჯგუფის ელემენტების მსგავსი ნაერთების ანალოგიურად:



პოლონიუმი ფართოდ გამოიყენება, როგორც გამოსხივებისა და იონიზაციის წყარო. როგორც აღვნიშნეთ, პოლონიუმ-210-ის ინტენსიური ალფა-გამოსხივების საშუალებით 1931 წელს ჩედვიკმა აღმოაჩინა ნეიტრონი. პირველი ხელოვნური რადიოაქტიური იზოტოპი 1934 წელს ი. კიურიმ და ფ. ჟოლიო კიურიმ მიიღეს პოლონიუმის ალფა-გამოსხივების საშუალებით. ბერილიუმთან ან სხვა მსუბუქ ელემენტთან პოლონიუმის ნარევი წარმოადგენს ნეიტრონების წყაროს. იგი ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე აქტივაციურ ანალიზებში გაზების ანალიზისათვის, მაღალელექტროსტატიკური აპარატების სიბრტყეებს შორის პოტენციალის გასაზომად, როგორც ალფატრონი, ბირთვული ფოტოფირების კალიბრირებისათვის და მრავალი სხვა საკითხის გადასაჭრელად.

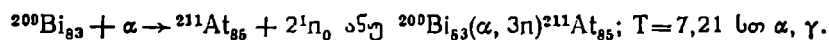
ა ს ტ ა ტ ი (At) Z = 85

ელემენტთა პერიოდული სისტემის VII ჯგუფის ა-ქვეჯგუფის უკანასკნელი 85 ატომური ნომრის მქონე ელემენტის არსებობა, როგორც იოდის უახლოესი ანალოგისა, იწინასწარმეტყველა მენდელეევი და

უწოდა „ეკაიოლი“; აღმოჩენის შემდეგ ასტატი ეწოდა (ბერძნ. astatos—არამდგრადი).

ბუნებაში ასტატი უმნიშვნელო რაოდენობით გვხვდება. სამავე რადიქტიურ მწკრივში ნაპოვნია ასტატის ოთხი იზოტოპი: ასტატი—215, 216, 218 და 219 მასის რიცხვებით. ურან-რადიუმისაში 218 მასის რიცხვით, თორიუმისაში 216 და აქტინიუმისაში 215 და 219 მასის რიცხვებით.

1940 წელს ე. სეგრეს, კორზონისა და მაკენზის მიერ ასტატი ხელოვნურად იქნა მიღებული შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:



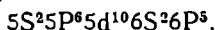
ამჟამად ცნობილია 22 რადიქტიური ასტატი და 6 იზომერი, რომელთაგან ასტატი-210 იზოტოპი ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა — $T=8,3$ სთ, რომელიც მიიღება ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად — 28 მევე ენერჯიის მქონე ალფა-ნაწილაკებით ლითონური ბისმუტის ან მისი სამყანგის ბომბარდირებით:



ცხადია, ამ დროს რაღაც რაოდენობა ასტატი-211-ისა მიიღება შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის $^{209}\text{Bi}_{83}(\alpha, 2\text{n})^{211}\text{At}_{85}$ თანახმად.

დადგენილია ასტატის ელექტრული გარსის აღნაგობა.

ასტატის K, L, M და N ელექტრული გარსები შეესებულება. გარე გარსის აღნაგობა შემდეგია:



ასტატი ასაწონი რაოდენობით ჰერჯერობით არ მიუღიათ და მისი პრაქტიკულად გამოყენების საკითხიც შეუსწავლელია.

ასტატის გამოყოფის ხერხები: 1) ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირებული ბისმუტისა და ბომბარდირების შედეგად მიღებულ პროდუქტებს ხსნიან მარილმჟავაში, ბისმუტს ლეჟავენ ფოსფატის (RiPO_4) სახით, მასთან ერთად ილექება ასტატი-210-ის დაშლის შედეგად წარმოქმნილი პოლონიუმიც, რის შემდეგ ხსნარიდან ასტატის მოცილება წარმოებს აქროლადებით; ასტატის დანაკარგის თავიდან აცილების მიზნით ჰურჰლის კედელზე წინასწარ დააქვთ მცირე რაოდენობით იოდი.

2) ბისმუტისა და სხვა მინარევებისაგან ასტატის გამოყოფა შეიძლება აგრეთვე კონცენტრული მარილმჟავას ხსნარიდან დიიზოპროპილის ეთერით ექსტრაჰირების ხერხით, აღმდგენლად FeCl_2 -ის თანდასწრებისას. ბისმუტის, ტყვიისა და ასტატის დაშლის შედეგად წარმოქ-

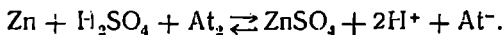
მნილი პოლონეუმის კვალი, რომელიც ამ დროს ასტატთან ერთად ორგანულ ფაზაში გადადის, შეიძლება მოვამზოროთ ტრიბუტილფოსფატის დამატებით და გაერთიანებული ორგანული ფაზის 2 N აზოტმქაევისა და 4 N მარილმქაევის ნარევიტ გარეცხვის საშუალებით.

3) აღფა-ნაწილაკებით ბომბარდირებული ბისმუტისაგან ასტატის გამოყოფის უკეთეს ხერხად ითვლება ვაკუუმში ან ჰელიუმის ნაკადში 271° ტემპერატურაზე აქროლადობის ხერხი. აქროლადებული ასტატის კონდენსირებას ახდენენ თხევადი აზოტით გაცივებულ პლატინის ზედაპირზე, რომელსაც ასტატი გადაეცვრება უხილავი რადიქტიური აფსკის სახით. პირველი აქროლადობის შემდეგ დარჩენილი ასტატი შეიძლება ხელმეორედ იქნეს აქროლადებული და კონდენსირებული ახალი, გაცივებული პლატინის ზედაპირზე. ეს ამავღ დროს მიგვითითებს იმაზე, რომ ხსნარში ელემენტარული ასტატი მოლეკულის (At_2) სახით უნდა იმყოფებოდეს. ყველა სხვა ლითონისაგან განსხვავებით, მოლეკულური ასტატი ამოიტყორცნება (აქროლდება) აგრეთვე წყალხსნარებიდანაც.

ვინაიდან ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე ასტატი ჯერჯერობით არც აღმოჩენილი და არც სინთეზირებულია, ამიტომ ასტატის ქიმიურ თვისებებს სწავლობენ მისი სუბმიკრორაოდენობის ნაერთების ან ძლიერ განზავებულ ხსნარებში ქცევის მიხედვით. ამის საფუძველზე დადგინდა, რომ თავისი ქიმიური თვისებებით ასტატი ძალიან წააგავს ლითონებს, მაგრამ ამავღ დროს არალითონებთანაც დიდ მსგავსებას იჩენს. მაგალითად, იგი მქავე არეში გოგირდწყალბადთან ურთიერთმოქმედებისას წარმოქმნის M_2S_3 ტიპის უხსნად მარისს. ამ შემთხვევაში იგი ლითონის თვისებებს ამქლავნებს. პირობებისდა მიხედვით, ელექტროლიზის შემთხვევაში ასტატი შეიძლება გამოვეყოთ როგორც კათოდზე, ისე ანოდზე, რაც ლითონ-არალითონის თვისებების გამომქლავნების მაჩვენებელია. მოლეკულური ასტატი (At_2), იოდის მოლეკულის (I_2) მსგავსად, შეიძლება ოთახის ტემპერატურაზე აქროლდეს.

ასტატსა და იოდს შორის მსგავსება კიდევ იმაში გამოვლინდა, რომ დიზოპროპილის ეთერის ხსნარიდან რაოდენობრივად ექსტრაპირდება ნატრიუმის ტუტის ხსნარით იონი (AtO)-ს სახით. მქავე ხსნარებში HIO და $HRiO$ ანალოგიურად $HAtO$ უნდა მოგვეცეს ასტატფენოლი და ასტატბენზოლი. $HAtO$ -ის გოგირდმქაევას ხსნარიდან ბენზოლით და ფენოლით ექსტრაპირების ცდები გვიჩვენებს, რომ ასტატი 90%-ით გადადის ორგანულ ფაზაში, ორგანული ფაზიდან კი 0,5 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარით ამოიწველილება მხოლოდ 20—30%-ით; ამავღ დროს

ორგანულ ფაზაში ასტატი აღმდგენლებისა და მქანგველების მიმართ ინერტულია, რაც იმაზე მიგვიჩივებს, რომ ასტატი ორგანულ ფაზის ნახშირბადთან უნდა ქმნიდეს მტკიცე ბმას. ასტატი ძალიან კარგად იხსნება არაპოლარულ ორგანულ გამხსნელებში — ბენზოლში, ოთხ-ქლორთანნახშირბადში. ეს თვისება ტიპური პალოგენებისთვისაა დამახასიათებელი, ლითონები კი მათში არ იხსნება. იოდთან ასტატის მსგავსების დამახასიათებელია ისიც, რომ ასტატი 0, 1 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარიდან NH_4OH -ის თანდასწრებისას რაოდენობრივად ილექება AgI -თან ერთად. ასევე გოგირდმკვას 1 მოლური ხსნარიდანაც, თუ ასტატი წინასწარ აღდგენილია მოლეკულურ (At_2) მდგომარეობიდან ანიონის At^- მდგომარეობამდე.



At^- ანიონს AgI -ის ნალექი თან წაიტაცებს. ბრომის ან კონცენტრული აზოტმკვას მოქმედებით ასტატი წარმოქმნის AtO^- ანიონს, ხოლო ძლიერი მქანგველები (HOCl და სხვ.) მას ქანგავს AtO_2^- ანიონამდე, რაც ადვილად დასტურდება ასტატის რაოდენობრივად AgIO_3 -თან თანდალექვით. ამავე დროს ასტატის რაოდენობრივი გამოყოფა არ არის დამოკიდებული რეაქტივების დამატების თანმიმდევრობაზე.

ამრავალ, დადგინდა, რომ ასტატი ძალიან წააგავს ლითონს და პალოგენებსაც. მისი დადებითი ვალენტობაა 1 და 5, უარყოფითი — 1. ერთ დადებით ვალენტობას იჩენს ქვეასტატმკვავაში— HAtO_3 და მის მარილებში, დადებით ხუთვალენტოვნობას—ასტატმკვავაში— HAtO_5 და მის მარილებში, ერთ უარყოფით ვალენტოვნობას—ასტატწყალბადმკვავაში — HAt და მის მარილებში.

რ ა ღ ო ნ ი (Rn), Z=86

ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტების სამი მწკრივი — ურან-რადიუმის თორიუმისა და აქტინო-ურანისა — შეიცავს ელემენტთა პერიოდული სისტემის ნულოვანი ჯგუფის უკანასკნელ წევრ ინერტულ რადიოაქტიურ აირებს — რადონს, თორონს და აქტინონს. ამ ემანაციებიდან (იზოტოპებიდან) ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა იზოტოპი რადონი $^{222}\text{Rn}_{86}$, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 3,82 დღეს; ის ალფა-განომსხივებელია.

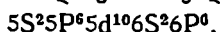
ემანაციების პირველი იზოტოპი თორონი-220 ოვენსონმა აღმოაჩინა 1899 წელს. თორონი თორიუმის რადიოაქტიურ მწკრივს მიეკუთვნება. ურან-რადიუმის მწკრივის წევრი რადონი-222 აღმოჩენილია 1900 წელს რეზერფორდის მიერ, ხოლო აქტინო-ურანის

მწკრივის წევრი აქტინონი-219 აღმოაჩინეს რეზერფორდმა, დებერენ-მა და გიზელმანმა 1900—1902 წწ.

ამჟამად ცნობილია რადონის 20-ზე მეტი იზოტოპი 201-დან 224-მდე მასის რიცხვით. ამათგან $^{223}\text{Rn}_{86}$ და $^{224}\text{Rn}_{86}$ არიან β- გამომსხივე-ბელნი, დანარჩენები კი — ალფა-გამომსხივებელი. იზოტოპი $^{221}\text{Rn}_{86}$ ალფა-და ბეტა-გამომსხივებელია. საერთოდ ემანაციების ნახევრად დაშლის პერიოდი მცირეა, ზოგჯერ თისთვის იგი წამზე ნაკლებია. მაგალითად, რადონი-215-სათვის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 10^{-6} წამს, რადონი-216-სათვის 10^{-4} წამს; ხელოვნურად მიღებული იზოტოპებიდან ჭერჭერობით ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა რადონი-221, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 16 საათს.

რადონი ელემენტების პერიოდული სისტემის ინერტულ აირებს შორის ყველაზე მძიმე ინერტული აირია, რომლის K, L, M და N ელექტრული გარსები შეესებულება.

რადონის გარე გარსის აღნაგობა შემდეგია:



როგორც ინერტული აირი, რადონის ატომის გარე (საველენტო) შრის შევსება 8 ელექტრონით ქმნის ელექტრონთა მტკიცე სისტემას, რაც ჩვეულებრივ პირობებში შეუძლებლად ხდის მის იონიზაციას — ელექტრონების გაცემას ან შექმნას.

საერთოდ ინერტული აირების მეორე განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ მათი მოლეკულა ერთი ატომისაგან შედგება.

რ ა დ ო ნ ი ს გ ა მ ო ყ ო ფ ა დ ა გ ა ნ ს ა ზ ღ ვ რ ა. რადონი რადიუმის მყარი ნაერთებიდან ლღობის ტემპერატურაზედაც გახურების დროსაც ძნელად გამოიყოფა. იგი უკეთ გამოიყოფა რადიუმის მარილების მარილმჟავას ან წყალხსნარიდან, რისთვისაც რადიუმის ხსნარიან ამბულას ინახავენ რადონის დაგროვების მიზნით და გარკვეული დროის შემდეგ რადონს აგროვებენ ამოქაჩვით. ამ გზით მიღებული რადონი შეიცავს წყალბადის, ჟანგბადის, წყლის ორთქლის, ჰელიუმის, ნახშირორჟანგისა და ორგანული ნივთიერების (ვაკუუმის საზეთ მასალების) მინარევებს. წყალბადის უმეტესი ნაწილი და ჟანგბადი მთლიანად შორდება მალალ ტემპერატურაზე ლითონური სპილენძისა და სპილენძის ჟანგში გატარებით, ორგანული ნივთიერებების ორთქლი კი გახურებული ტყვიის ბიჭრომატში გატარებით, ნახშირორჟანგისა და მჟავების ორთქლი ტუტებში გატარებით. ყოველივე ამის შემდეგ რადონს გაყინავენ თხევადი აირით და დარჩენილ წყალბადს და ჰელიუმს ამო-

ქაჩვით აშრობენ. საბოლოოდ რადონს აგროვებენ თხევადი აირით გაცივებულ კაპილარში გატარებით.

რადონის გამოყოფა შეიძლება აგრეთვე ნახშირორჟანგისა და წყლის ორთქლისაგან გასუფთავების შემდეგ გააქტიურებულ ნახშირზე აღსობიერებით და ნახშირიდან 350° -ზე მისი დესორბციის გზით.

მიღებული რადონის განსაზღვრა წარმოებს რადონის ალფა-გამოსხივების მიხედვით ან ნაშიერი პროდუქტის — პოლონიუმის ბეტა-გამოსხივების მიხედვით და მიღებული აქტივობის ეტალონის აქტივობასთან შედარებით.

ნორმალურ პირობებში რადონი უფრო ერთატომიანი აირია. მისი დუღილის ტემპერატურა უდრის $61,8^{\circ}$, გამყარების ტემპერატურა — 71° . 0° -ზე 100 მოცულობა წყალში იხსნება 51 მოცულობა რადონი. რადონი უკეთესად იხსნება ორგანულ გამხსნელებში, ვიდრე წყალში. სხვა ინერტული აირების წყალში და ორგანულ გამხსნელებში ხსნადობა, დუღილისა და გამყარების ტემპერატურა მცირდება ატომწონის შემცირებასთან ერთად.

რ ა დ ო ნ ი ს ქ ი მ ი უ რ ი ნ ა ე რ თ ე ბ ი. მიუხედავად იმისა, რომ რადიოაქტიური აირები (ემანაციები) პერიოდული სისტემის ნულოვან ჯგუფს მიეკუთვნებიან, როგორი პარადოქსალურიც (უცნაურიც) უნდა გვეჩვენოს, ისინი წარმოქმნიან ვან-დერ-ვალსის ძალებით დაკავშირებულ არამტკიცე ნაერთებს.

ბ. ნ ი კ ი ტ ი ნ მ ა 1936 წელს პირველმა აღნიშნა, რომ ემანაციები 0° -ზე წყალთან წარმოქმნიან $X \cdot 6H_2O$ ტიპის უფრო კრისტალპიდრატებს. რადონის (ემანაციის) კრისტალპიდრატის წარმოქმნა მიმდინარეობს ყინულის ზედაპირზე; ყინულიდან აორთქლებული წყლის მოლეკულებისა და რადონის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი კომპლექსი—რადონის ჰექსაჰიდრატი $Rn \cdot 6H_2O$ ყინულის ზედაპირზე გამოიყოფა უფრო კრისტალური ნალექის სახით. ყველა დანარჩენი ინერტული აირი ანალოგიური ჰექსაკრისტალპიდრატებს წარმოქმნის, რომელთა შემადგენლობა პასუხობს $X \cdot 6H_2O$, სადაც $X = Ar, Kr, Xe, Rn$, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მათ პოლარიზაციის უნარი აქვთ. კრისტალპიდრატების მდგრადობა მით მეტია, რაც მეტია ინერტული ელემენტების ატომური წონა. შემდეგში გამოიკვეა, რომ სხვადასხვა კომპლექსნაერთებში რადონს შეუძლია ჩაანაცვლოს გოგირდწყალბადი და წარმოქმნას თავისებური ნაერთები. მაგალითად, $H_2S \cdot 2C_6H_5OH$ -დან გოგირდწყალბადის ჩანაცვლებით რადონის ფენოლთან ნაერთი $Rn \cdot 2C_6H_5OH$; $H_2S \cdot 2C_6H_5OH$ ფენოლთან იზომორფულია, ეთილის სპირტთან წარმოქმნის $Rn \cdot 2C_6H_5OH$ და ა. შ.

რადონი ფტორთან აგრეთვე წარმოქმნის მთელ რიგ მდგრად XFn ტიპის ფტორიდებს, სადაც $n=2, 4, 6$, რომელთა აქროლალობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ქსენონის შესაბამისი ფტორიდებისა. როგორც ცნობილია, უკანასკნელ ხანებამდე საყოველთაოდ იყო აღიარებული, რომ ინერტული აირები არც ერთმანეთთან და არც სხვა ელემენტებთან არ შედიან ქიმიურ ურთიერთმოქმედებაში, მაშინ როდესაც ისინი მთელ რიგ თავისებურ ნაერთებს იძლევიან. ამრიგად, ცნება „ინერტული აირები“ პირობითად უნდა ჩაითვალოს.

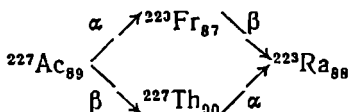
ემანაციების გამოყენება. რადონი და თორონი გამოიყენება რადიუმის განსასაზღვრავად; ისინი შეიძლება აგრეთვე გამოყენებული იქნენ ფილტრების ხარისხის შესასწავლად. ბერილიუმთან ან სხვა მსუბუქ ელემენტებთან რადონის ნარევი ან ნაერთი გამოიყენება ნეიტრონების მისაღებად. მედიცინაში რადონმა ფართო გამოყენება მოიპოვა რადიოთერაპიაში — ავთვისებიან სიმსივნეთა სამკურნალოდ. მაშინ როდესაც რადონის შესუნთქვა მეტად საშიშია, ვინაიდან წყალში კარგად იხსნება, ადვილად შეიწოვება და დიდხანს რჩება კრიტიკულ ორგანოებში და თვით იწვევს ავთვისებიან სიმსივნეს. რადონის შესანახად საჭიროა სპეციალური ჰურჭული, რათა ის არ გადნეს რადონის თუნდაც მცირე რაოდენობით შენახვისას, რადგან 1 გ რადონი საათში გამოყოფს 4400 კკალ სითბოს.

ფ რ ა ნ ც ი უ მ ი (Fr), $Z=87$

მენდელეევიმა ჯერ კიდევ 1879 წელს იწინასწარმეტყველა ფრანციუმის არსებობა, აღწერა მისი თვისებები და უწოდა „ეკაცეზიუმი“.

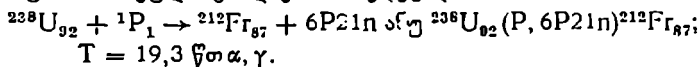
ფრანციუმი მიეკუთვნება ელემენტთა პერიოდული სისტემის 1 ჯგუფის ა-ქვეჯგუფის უძძიმეს ტუტე-ლითონს.

მ. პერე 1939 წელს აქტინიუმის სუფთა სახით გამოყოფისა და სუფთა სახით გამოყოფილი აქტინიუმ-227-ის თვისებების შესწავლისას აღმოაჩინა ფრანციუმის პირველი იზოტოპი, ფრანციუმ-223. იგი მიიღება აქტინიუმ-227-ის 1,2%-ის ალფა-დაშლის შედეგად, ხოლო დანარჩენი 98,8 განიცდის ბეტა-გარდაქმნას. ამრიგად, აქტინიუმ-227-ის გარდაქმნა მიმდინარეობს შემდეგი სქემის მიხედვით:



დღეისათვის ფრანციუმის 20-მდე რადიოაქტიური იზოტოპია ცნობილი 204-დან 224-მდე მასის რიცხვით. ამთგან ფრანციუმ-223 ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა, მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=22$ წუთს. ფრანციუმ-223 აქტინო-ურანის მწკრივის წევრია და ერთადერთი იზოტოპია, რომელიც გვხვდება ბუნებაში. დედამიწის ქერქში Fr/u-თან შეფარდება უდრის 4.10^{-18} , იგი თანდალექვის მეთოდით იქნა გამოყოფილი და შესწავლილი. ნუკლეონის მწკრივში კი შედის ფრანციუმ-221, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=4,8$ წთ.

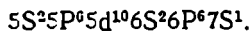
ამჟამად ცნობილი ფრანციუმის ყველა იზოტოპი მიიღება აქტინიუმის ალფა-დაშლის ან ურანისა და თორიუმის მალალი ენერგიის მქონე (აჩქარებული) პროტონებით ან დეიტერონებით ბომბარდირებისას ღრმა ატომბირთვული გარდაქმნის შედეგად:



ანალოგიურად მიიღება სხვა იზოტოპებიც.

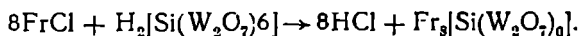
ფრანციუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შეესებულება.

მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



მიუხედავად იმისა, რომ ფრანციუმის იზოტოპები არაასაწონი რაოდენობითაა მიღებული და ძირითადად ხსნარის სახით, მაინც დადგინდა, რომ იგი თავისი ქიმიური თვისებებით ძალიან წააგავს ცეზიუმს. მისთვის დამახასიათებელია ელექტროდადებითი მტკიცე ერთვალენტობა (Fr^+) და კომპლექსური ნაერთების წარმოქმნის მიდრეკილებას ნაკლებად იჩენს. ცნობილია, რომ ტუტე-ლითონების მარტივი მარილების ხსნადობა, როგორც წესი, იზრდება კალიუმიდან ცეზიუმისაკენ, ხოლო ორმაგი მარილების ხსნადობა იმავე რიგით მცირდება. ამ წესის შესაბამისად Cs_2PtCl_6 , Cs_2BiCl_6 , Cs_2SbCl_6 , $\text{Cs}_2\text{Na}[\text{CoNO}_2]_6$, Rb_2PtCl_6 და სხვა. კრისტალები პრაქტიკულად მთლიანად წარიჩაძებს ფრანციუმს.

ფრანციუმში სარჩულისაგან ნაწილობრივად განთავისუფლებული სახით მიიღება მარილმჟავას კონცენტრული ხსნარიდან სილიკო-ვოლფრამმჟავასთან თანდალექვის მეთოდით:



სილიკო-ვოლფრამმჟავას ნაცვლად შეიძლება ავიღოთ ფოსფორო-ვოლფრამმჟავა ან ვანადიუმ-ფოსფორო-ვოლფრამმჟავა.

დალექვის შემდეგ ნალექს აშორებენ დედახსნარს, რეცხავენ მარილმჟავათი და ხსნიან ტუტეში. შემდეგ ცეზიუმის პერკლორატთან ერთად ფრანციუმს ლექავენ FrClO_4 -ის სახით. მიღებულ ნალექს ხსნი-

ან და ატარებენ მეავე ფორმის იონნიმოცვლით ფისში. აღსორბირებუ-
ლი ფრანციუმის გამოწველილვას ახდენენ ერთ ნორმალობის აზოტმეა-
ვათი, რის შედეგად მიიღება FrNO_3 -ის ხსნარი.

კალიუმში, რუბიდიუმში და ცეზიუმის ზოგიერთი ფიზიკური თვი-
სების მათივე რიგითი ნომრებთან სწორხაზოვანი დამოკიდებულებიდან
გამომდინარე, ექსტრაპოლირებით მიღებული ფრანციუმის ლლობის
ტემპერატურა უდრის 20° , დუილის ტემპერატურა 620° , კუთრი წო-
ნა 2,5, Fr^+ იონის რადიუსი კი უდრის $1,78\text{\AA}$.

იზოტოპი ფრანციუმ-223 გამოიყენება აქტინიუმ-227-ის განსასაზ-
ღვრავად, რადგან მათ შორის სწრაფად მყარდება რადიაქტიური წო-
ნასწორობა.

რ ა ღ ი უ მ ი (Ra), $Z=88$

რადიუმი ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში, მაგრამ უმნიშე-
ნელო რაოდენობით; რადიუმის საშუალო რაოდენობა დედამიწის ქერ-
ქში შეადგენს $3 \cdot 10^{-10}\%$ -ს მცირე რაოდენობით რადიუმს შეიცავს ყვე-
ლა მინერალი და სამკურნალო წყალი. ზოგიერთი მინერალი, მაგალი-
თად, ურანის ფისი, ანუ ურანიტი, რადიუმის ნაერთებს მნიშვნელოვანი
რაოდენობით შეიცავს. ოკეანეს წყლებში რადიუმის შემცველობა და-
ახლოებით 20000 ტონას უდრის, ხოლო დედამიწის ქერქში — დაახ-
ლოებით $1,8 \cdot 10^7$ ტონას. 1897 წელს მარია და აპიერ კიურებმა ურანის
ფისიდან პირველად გამოიყვეს რადიუმი.

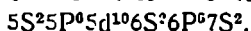
ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტების სამივე მწკრივი შეიცავს
რადიუმს; ამავე დროს იგი ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტის ნეპ-
ტუნის მწკრივიც შედის. ურან-რადიუმის მწკრივში შემავალი რა-
დიუმ-226 ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=1622$ წელს, თორიუმის
მწკრივის წევრი რადიუმ-224-სათვის $T=3,64$ დღეს, აქტინო-ურანის
წევრი რადიუმ-223-სათვის $T=11,2$ დღეს, ხოლო ნეპტუნის მწკრივის
წევრი რადიუმ-225-სათვის $T=14,8$ დღეს.

ამათ გარდა დღეისათვის მიღებულია რადიუმის 17 რადიაქტიური
იზოტოპი 206-სა და 230 შორის მასის რიცხვით. ყველა ესენი მცირე
სიცოცხლის მქონენი არიან. მათი ნახევრად დაშლის პერიოდი 1 საათი-
დან 1 წამამდე დიაპაზონში მდებარეობს.

ამრიგად, ურან-რადიუმის მწკრივის წევრი რადიუმ-226 ყველაზე
დიდი სიცოცხლის მქონეა. ყოველი ერთი ტონა ურანის ფისის მადანი
შეიცავს 0,4 გ რადიუმს და იგი რადიუმის მიღების ძირითადი წყაროა.
ჩვეულებრივად რადიუმის ხელოვნურ რადიაქტიურ იზოტოპებს ღე-

ბულობენ ურანის, თორიუმის ან ტყვიის მაღალი ენერჯიის მქონე (აჩქარებული) დეიტერონებით, ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების ან შესაბამისი რადიუმის იზოტოპის მიერ ნეიტრონის მიტაცების შედეგად. მაგალითად:

$^{226}\text{Ra}_{88} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{227}\text{Ra}_{88} + \gamma$ ანუ $^{226}\text{Ra}(\text{n}, \gamma)^{227}\text{Ra}_{88}$; $T = 41,2$ წთ. β^- , რადიუმის K, L, M და N ელექტრონი გარსები შეესებულია. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



ამრიგად, რადიუმი წარმოადგენს პერიოდული სისტემის II ჯგუფის ტუტე მიწათა ლითონებიდან ყველაზე ძირითად ტუტე მიწათა ლითონს. მისთვის დამახასიათებელია ელექტრო დადებითი ორვალენტობა (Ra^{2+}) და კომპლექსური ნაერთების წარმოქმნის მიდრეკილებას ნაკლებად იჩენს.

1910 წელს ლითონური რადიუმი პირველად მიიღეს მ. კი უ რ ი მ და ა. დ ე ბ ე რ ნ მ ა რადიუმის ქლორიდის ელექტროლიზით — ვერცხლისწყლის კათოდზე გამოყოფით. მიღებული ამალგამიდან ვერცხლისწყლის მოშორება წარმოებს რკინის ნაფზე მოთავსებით და წყალბადის ნაკადში 700° -მდე გახურებით. რადგან რადიუმი ამ პირობებში არ ქროლდება, ამიტომ ის ნარჩენში დაგროვდება. ლითონური რადიუმი მზნინვარე, თეთრი ფერის ლითონია, მისი ღლობის ტემპერატურა უდრის 700° (ზოგიერთი მონაცემის მიხედვით 960°) და უფრო აქროლადია, ვიდრე ბარიუმი. ლითონ რადიუმის კუთრი წონაა გ/სმ³. Ra^{2+} იონის რადიუსი უდრის $1,37 \text{ \AA}$.

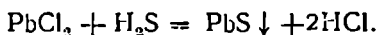
რ ა დ ი უ მ ი ს ო ბ ა მ ო ყ ო ფ ი ს მ ე თ ო დ ი. ეს მეთოდი რამდენიმე საფეხურისაგან შედგება.

1. ურანის ფისს უმატებენ ბარიუმს რადიუმის სარჩულად და ამუშავენ გოგირდმჟავათი. ამ დროს რადიუმი გადადის ნალექში RaSO_4 -ის სახით, რადგან რადიუმის სულფატი ძნელად ხსნადია, ურანი კი ხსნარში რჩება ურანილ-სულფატის UO_2SO_4 -ის სახით.

2. რადიუმის, ბარიუმისა და სხვა სულფატების ნალექი კონცენტრული სოდის ხსნართან ერთად ხანგრძლივი დუღებით გადაჰყავთ უხსნად კარბონატებში— BaCO_3 და RaCO_3 -ში. თუ ურანის მაღალი ძალიან გაქუქუყიანებულია სილიციუმით, მაშინ სოდასთან დუღილს აწარმოებენ NaOH თანდასწრებით, რა დროსაც სილიციუმი გადადის მეტასილიციუმმჟავა ნატრიუმის მარილში (Na_2SiO_3), ეს უკანასკნელი კი ხსნადია; მაღანში შემავალი ტანტალი კი ტუტე არეში გამოიყოფა H_3TaO_4 -ის სახით, რომელიც მთლიანად წარიტაცებს პროტაქტინიუმ-

საც. პროტაქტინიუმის ფრაქციის გადამუშავებას ცალკე აწარმოებენ.

3. ნალექს ხსნიან კონცენტრულ მარილმჟავაში, რითაც ხსნარში გადავა $RaCl_2$, $BaCl_2$, $CaCl_2$, $PbCl_2$. ხსნარიდან ტყვიას გოგირდწყალბადის მაძლარი ხსნარის მოქმედებით აშორებენ შემდეგი რეაქციის თანხმად:

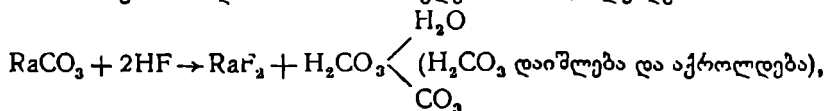


4. ქლორიდების ხსნარიდან გამოყოფილი ტყვიის სულფიდის მოშორების შემდეგ ხსნარს აორთქლებენ, სანამ არ დაიწყება $RaCl_2$ და $RaCl_2$ -ის გამოკრისტალება, ხოლო რადიუმისა და ბარიუმის საბოლოო განცალკევებას ახდენენ წილადური კრისტალიზაციის მეთოდით ბრომიდების, ქლორიდების ან ქრომატების სახით გამოკრისტალებისა ან კიდევ კათიონიტურ იონმიმოცვლის ხერხით. ლითონური რადიუმი მიიღება $RaCl_2$ -ის ელექტროლიზით ვერცხლისწყლის კათოდზე, ზემოაღნიშნული ხერხით.

აქვე აღსანიშნავია, რომ რადიუმის კარბონატი თერმულად მდგრადია, ბარიუმის კარბონატი კი არამდგრადია და იშლება ბარიუმის ქანგად და ნახშირორქანგად. ამრიგად, თუ რადიუმისა და ბარიუმის კარბონატების ნარევეს გავახურებთ $400-800^\circ$ -მდე ვაკუუმში, ბარიუმის კარბონატი გარდაიქმნება ბარიუმის ქანგად, რომლის წყალში გახსნით შეიძლება მოვაშოროთ იგი წყალში უხსნადი რადიუმის კარბონატს.

თავისი ქიმიური თვისებებით რადიუმი ბარიუმის ანალოგია, მაგრამ ქიმიურად უფრო აქტიური ლითონია, ვიდრე ბარიუმი. ლითონური რადიუმი წყალს ენერგიულად შლის, ჰიდროქანგი $Ra(OH)_2$ -ის მოცემით. რადიუმის ჰიდროქანგი $Ra(OH)_2$ ბევრად უფრო კარგად იხსნება წყალში, ვიდრე ბარიუმის ჰიდროქანგი $Ba(OH)_2$, ხოლო რადიუმის მარილები კი, პირუკუ, წყალში ნაკლებად ხსნადია, ვიდრე ბარიუმისა. მაგალითად: 20° -ზე ბარიუმის სულფატის წყალში ხსნადობა უდრის $2,4 \cdot 10^{-6}$ გ/მლ, ხოლო რადიუმის სულფატის ხსნადობა კი უდრის $2,1 \cdot 10^{-6}$ გ/მლ.

რადიუმის მარილები ძირითადად მიიღება $Ra(OH)_2$ ან $RaCO_3$ -დან მიმოცვლის რეაქციით. მაგალითად, რადიუმის ფტორიდი მიიღებო $RaCO_3$ -ის HF-ში გახსნით და ხსნარის აორთქლებით სიმშრალემდე:



ბლო უწყლო რადიუმის ბრომიდი მიიღება აირად HBr-თან $RaCl_2$ -ის გავარჯარებაზე გახურებით:



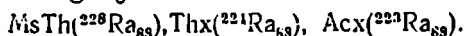
ცნობილია აგრეთვე $RaBr \cdot 2H_2O$, $RaBr_2 \cdot 6H_2O$ და ორმაგი მარილი $RaBr_2 \cdot 2BaBr_2 \cdot 6H_2O$ შემადგენლობისა, რომელიც წარმოიქმნება რადიუმისა და ბარიუმის წილადური კრისტალიზაციის ხერხით განცალკევებისას. $RaCl_2$ მიიღება HCl-ისა და CCl_4 -ის ნარევეში $RaSO_4$ -ის გახურებით. ძნელად ხსნადია რადიუმის შემდეგი მარილები: ქრომატი $RaCrO_4$, ფტორიდი RaF_2 , ოქსალატი RaC_2O_4 , ფოსფატი $Ra_3(PO_4)_2$.

რადიუმის მარილები სიბნელეში ცისფრად ანათებენ. ყველა ახლად დამზადებული რადიუმის მარილები თეთრი ფერისაა და მხოლოდ დროთა განმავლობაში სხვადასხვა ფერს ღებულობენ (ყვითელს, ნარინჯისა და ყავისფერს) ნაწილობრივად დაშლის გამო, რომელსაც იწვევს ის ძლიერი რადიაცია (გამოსხივება), რასაც მათში შემავალი რადიუმი გამოასხივებს.

ბუნებაში რადიუმი ძალიან მოძრავია, რადგან მთის ქანებიდან ძლიერად ხდება მისი გამოტუტვა; ამიტომ ურანის მინერალების დიდი ნაწილი რადიუმის საგრძნობ ნაწილს კარგავს, ზოგჯერ 85%-მდეც კი, სამაგიეროდ ზოგიერთ მინერალურ წყალში რადიუმი დიდი რაოდენობითაა.

მედიცინაში რადიუმის გამოყენებას დიდი ხნის ისტორია აქვს; იგი გამოიყენება რადიოთერაპიაში. რადიუმისაგან დამზადებულ მნათ ნივთიერებებს იყენებენ სამხედრო საქმეში, ავიასაქმეში, სადაც საჭიროა მაჩვენებლები ანათებდეს სიბნელეში ორიენტირებისათვის. ბერილიუმისა და რადიუმის ნარევი ნეიტრონების მიღების წყაროა და სხვ.

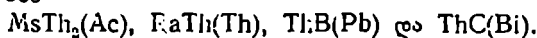
რ ა დ ი უ მ ი ს რ ა დ ი ო ქ ი მ ი უ რ ი გ ა ს უ ფ თ ა ვ ე ბ ა. ჩვეულებრივად მადნიდან გამოყოფილი რადიუმი გაქუჭყიანებულია თავისი ბუნებრივი იზოტოპებით:



რადიუმის ერთ-ერთი იზოტოპი მეზოთორიუმ-1-ლი (^{226}Ra , $T = 6,7$ წელი β -გამომსხივებელია) წარმოადგენს თორიუმის ნაშიერ ელემენტს და მასში 4,8.10⁻⁸%-მდეა. თორიუმისაგან მისი მოცილება ადვილია, რადგან თორიუმის ჰიდროქსიდთან შედარებით რადიუმის ჰიდროქსიდი კარგად იხსნება წყალში. ამიტომ იღებენ თორიუმის რომელიმე ძველი მარილის (რომელშიც თორიუმი და რადიუმი წონასწორულ მდგომარეობაშია) წყალხსნარს, მას უმატებენ ამიაკს. ამიაკის და-

მატებისას თორიუმი ილექება თორიუმის ჰიდროქანგის $\text{Th}(\text{OH})_4$ -ის სახით, მეზოთორიუმ-1 კი რჩება ხსნარში.

მეზოთორიუმ-1-ის მინარეგებისაგან განთავისუფლების მიზნით მის ხსნარს უმატებენ რკინის ან ალუმინის მარილებს და მათ ჰიდროქანგებს CO_2 -ის არშემცველი ამიაკით¹ გამოლექავენ. ნალექი თან წაიტაცებს მინარეგებს:



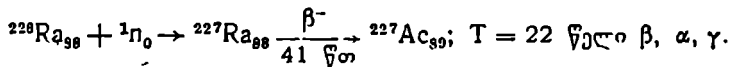
საბოლოოდ ხსნარს აორთქლებენ, ავარვარებენ და მეზოთორიუმ-1 ლეზულობენ RaO სახით. მეზოთორიუმი გამოიყენება როგორც რადიუმის შემცველი. ის ხშირად იხმარება მნათი ნარეგების მოსამზადებლად ციფერბლატებისა და სხვა მრავალი ხელსაწყოსათვის.

აქტინიუმი (Ac), $Z=89$

აქტინიუმი 1899 წელს აღმოაჩინა ა. დებერნომ. ის აღმოაჩინა აქტინო-ურანის გადამუშავებული მადნის ნარჩენებში. სახელწოდება ბერძნული სიტყვიდან წარმოდგება: aktinos — სხივი.

აქტინიუმ-227 ($T=22$ წელს) აქტინო-ურანის მწკრივის წევრია. აქტინიუმ-228 ($T=6,13$ სთ) თორიუმის მწკრივის წევრია. აქტინიუმის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების შესწავლის საფუძველზე იგი მოთავსებულია პერიოდული სისტემის III ჯგუფში.

1 გ ბუნებრივი ურანის მადანი შეიცავს $\sim 10^{-10}$ გ აქტინიუმ-227. ხოლო 1 გ თორიუმი $5 \cdot 10^{-14}$ გ. ამრიგად, აქტინიუმი შეიძლება გამოიყოს ურანის მადნიდან. მიუხედავად ამისა, წონითი რაოდენობით აქტინიუმს ხელოვნურად ლეზულობენ თბური ნეიტრონებით რადიუმის ბომბარდირების ზერხით:



რადიუმიდან აქტინიუმის გაცალკეებისათვის საკმარისია იგი (სამიზნებელი) გაიხსნას მარილმქავაში, ხსნარიდან აქტინიუმის ექსტრაჰირება მოხდეს თიოფენკარბონილ-სამფტორაეტონით ქლოროფორმში $\text{PH} \approx 3,6$ არეში. შემდეგ აქტინიუმს ლექავენ $\text{Ac}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ -ის სახით. ნალექს ხსნიან მარილმქავაში და კონცენტრული HF -ის დამატებით ისევ გადაყავთ ნალექში AcF_3 -ის სახით. მიღებულ AcF_3 ლითონური ლითიუმის ორთქლით აღადგენენ ლითონურ აქტინიუმამდე ვაკუუმში

¹ რადგან იონი CO_3^{2-} , თუ მოხვდა ხსნარში მეზოთორიუმ-1-იც, ძნელად ხსნადი კარბონატის სახით გამოილექება.

1000°-ზე გახურებით ან აქტინიუმის ქლორიდის კალიუმის ორთქლით 350°-ზე გახურებით აღდგენის ხერხებით.

აქტინიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შევსებულია, მისი გარეგარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:

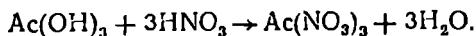


ეს ელექტრული სტრუქტურა შეესაბამება სამვალენტოვან ელემენტს—ლანთანის ჰომოლოგს. თავისი ქიმიური თვისებებით აქტინიუმი ლანთანის ანალოგია და ძლიერ ელექტროდადებით სამვალენტოვნობას იჩენს (Ac^{3+}). მაგრამ ლანთანთან შედარებით ძირითადი ქიმიური თვისებები მასში უფრო მკაფიოდაა გამოსახული, რადგან მისი იონის რადიუსი $\cong 1.11 \text{ \AA}$. ლანთანის იონის რადიუსი კი $\cong 1.06 \text{ \AA}$. იგი ლანთანის ანალოგიურად წარმოქმნის ძნელად ხსნად ჰიდროქსიდს, ფტორიდს, ფტორსილიკატს, კარბონატს, ფოსფატს, ოქსალატს, ჰიდროქსიდს და სხვ. ნიტრატები და აცეტატები წყალში კარგად იხსნებიან.

ლითონური აქტინიუმი ვერცხლისფერი თეთრი ფერის ლითონია. იგი კრისტალდება წახნაგდაცენტრებული კუბური გისოსის სახით. მისი ლღობის ტემპერატურა უდრის 1050°. ჰაერზე სწრაფად იჟანგება. სიბნელეში ანათებს. მარილმჟავასა და აზოტმჟავაში კარგად იხსნება.

აქტინიუმის ძირითადი ნაერთებია აქტინიუმის ლაბისებრი ჰიდროქსიდის $Ac(OH)_3$ მიიღება მის მარილის ხსნარზე ტუტის მოქმედებით.

აქტინიუმის ჰიდროქსიდის აზოტმჟავაში გახსნით მიიღება აქტინიუმის ნიტრატი.

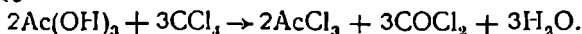


აქტინიუმის ნიტრატი იხსნება აბსოლუტურ სპირტში, წყალში. აქტინიუმის ჟანგი Ac_2O_3 მიიღება მისი ჰიდროქსიდის, ნიტრატის ან ოქსალატის 1100°-ზე გახურებით. აქტინიუმის ძირითადი ნაერთები, განსაკუთრებით ჰალოგენები მიიღება მშრალი რეაქციით.

აქტინიუმ-ფტორიდი AcF_3 მიიღება ფტორწყალბადისა და აქტინიუმის ჟანგის ურთიერთმოქმედებით 700°-ზე. აქტინიუმ-ფტორიდი ითვლება ნეიტრონების ბუნებრივ წყაროდ, შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად: $^{19}F_9(\alpha, n)^{22}Na_{11}$.

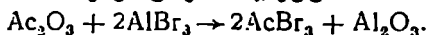
1 კიური აქტივობის მქონე აქტინიუმ-ფტორიდი 1, $21 \cdot 10^6$ ნეიტრონ/წამს იძლევა, აქტინიუმ-ქლორიდი $AlCl_3$ მიიღება Ac_2O_3 -ის ან $Ac_2(C_2O_4)_3$ -ისა და $C Cl_4$ -ის ნარევის 960°-ზე გახურებით ან კიდევ აქ-

ტინიუმის ჰიდროჟენისა და ნახშირბად-ოთხქლორიდის ორთქლის ურთიერთმოქმედებით:



თუ აქტინიუმ-ქლორიდს ამიაკთან და წყლის ორთქლთან ერთად გაავახურებთ 1000°-მდე, იგი ნაწილობრივ ჰიდროლიზდება AcOCl -ის წარმოქმნით. ანალოგიურად ჰიდროლიზდება აქტინიუმ-ფტორიდიც. აქტინიუმ-ქლორიდი AcCl_3 მყარი, არააქლორადი მარილია, ვაკუუმში 1000°-ზე გახურებით კი აქროლდება.

აქტინიუმ-ბრომიდი AcBr_3 მიიღება აქტინიუმის ჟანგისა და ალუმინის ბრომიდის 750°-ზე გახურებით ვაკუუმში:



რეაქციის დამთავრების შემდეგ ჰარბ ალუმინის ბრომიდს 400°-ზე გახურებით აშორებენ. აქტინიუმ-ბრომიდი 800°-ზე აქროლადია. აქტინიუმ-იოდიდი AcI_3 აქტინიუმ-ფტორიდისა და აქტინიუმ-ბრომიდის ანალოგიურად მიიღება. აქტინიუმ-იოდიდი 800°-ზე აქროლადია. გრაფიტის ტიგელში აქტინიუმის ჟანგის, გოგირდწყალბადის ნაკადში 1400°-ზე გახურებით მიიღება აქტინიუმ-სულფიდი Ac_2S_3 .

თ ო რ ი უ მ ი (Th), Z=90

თორიუმი 1828 წელს აღმოაჩინა ი. ბერცელიუსმა, ხოლო მისი რადიოაქტიუობა დადგინდა 1898 წელს.

პრაქტიკულად იზოტოპი თორიუმ-232 წარმოადგენს ბუნებრივ თორიუმს, რომელიც ალფა-გამომსხივებელია და მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=1,4 \cdot 10^{10}$ წელს. გარდა თორიუმ-232-სა, ოთხივე რადიოაქტიური მწკრივი შეიცავს აგრეთვე თორიუმ-227—231, 234. თორიუმის რაოდენობა დედამიწის ქერქში შეადგენს 0,002%. დღემდე ცნობილი თორიუმის 13-ვე იზოტოპი მასის რიცხვით 223—235 რადიოაქტიურია. ამათგან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა თორიუმ-232, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი $=T 1,4 \cdot 10^{10}$ წელს.

ცნობილია 160-მდე თორიუმის მინერალი. ამათგან ასზე მეტი ურანს შეიცავს. უმრავლეს მინერალებში თორიუმის შემცველობა $\cong 4\%$. თორიუმის მიღების ძირითად წყაროს წარმოადგენს მინერალი მონაციტი $\text{CePO}_4 + \text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ —წითელი, ყავისფერი ან მოყვითალო-ყავისფერი მინერალია. ის თორიუმს 16%-მდე შეიცავს. თორიტი ThSiO_4 ყავისფერი ან შავი ფერისაა. თორიუმს 70%-მდე შეიცავს. თორიანიტი $(\text{Th}, \text{U}) \text{O}_2 + \text{UO}_3$ და იშვიათ მიწათა ელემენტების ჟანგეულების ნარევეს წარმოადგენს. მინერალ თორიანიტი ნაცრისფერი, მო-

ნაცრისფრო-ყავისფერი, მონაცრისფრო-მწვანე ან შავი ფერის მინერალია. თორიუმს 30—82%-მდე, ხოლო ურანს 4—40%-მდე შეიცავს.

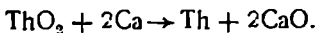
თორიუმის მინერალების ძირითადი საბადოები განლაგებულია ინდოეთში, ბრაზილიაში, სამხრეთ აფრიკაში, სამხრეთ ამერიკაში, მადაგასკარაში, ავსტრალიაში, ტაივანში. და სხვ.

ლითონური თორიუმის მიღების ზეობები:
1) მიიღება ThF_4 და NaCl -ის ექვიმოლარული ნარევის გაღობილი მასის 800° ტემპერატურაზე ელექტროლიზით. ამ დროს ლითონური თორიუმი პატარ-პატარა მარცვლების სახით კათოდზე გამოიყოფა, გამოსავალი $\cong 70\%$.

2) მიიღება აგრეთვე ThCl_4 , K_2ThCl_6 ლითონური კალიუმით ან ნატრიუმით აღდგენის ხერხით: $\text{K}_2\text{ThCl}_6 + 4\text{K} = 6\text{KCl} + \text{Th}$.

3) ლითონური თორიუმის მიღება უფრო ხელსაყრელია თორიუმ-ორჟანგის ფხვნილის არგონის ატმოსფეროში 1000° -ზე ლითონური კალციუმით აღდგენის ხერხით.

გამოსავალი $\cong 90\%$. შემდეგი რეაქციის თანახმად:

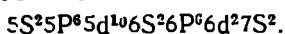


აღდგენის შემდეგ შეცხოვილ მასას დაფხვნიან და კალციუმის უანგს აცილებენ აზოტმეფავათი.

4) ძალიან სუფთა ლითონური თორიუმი მიიღება გავარგარებულ ვოლფრამის მავთულზე ThI_4 -ის დაშლით, რომელი ხერხითაც უნდა იყოს მიღებული ლითონური თორიუმი, ის ყოველთვის შეიცავს თავისივე ორჟანგის კვალს, რომელიც მასში გახსნილი სახით უნდა იმყოფებოდეს.

ოთახის ტემპერატურაზე ჰაერში და წყალში იგი არ იყანგება, მაგრამ 250° -ზე კი უკვე იწყებს დაყანგვას.

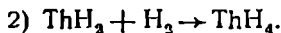
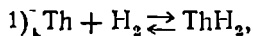
თორიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შევსებულია. მისი გარეგარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



ელექტრონული სტრუქტურიდან გამომდინარე, თორიუმის მდგრადი ვალენტოვნობა უდრის ოთხს, რაც მისი ნაერთებითაც დასტურდება.

450 — 500° -ზე თორიუმი უერთდება წყალბადს, ჰალოგენებს და გოგირდს, აზოტთან 650° -ზე წარმოქმნის მიხაკისფერ ნიტრიდს — Th_3N_4 . ნახშირბადთან ელექტროლუმელში თორიუმ-ორჟანგის გავარგარებისას მიიღება თორიუმ-კარბიდი ThC_2 —ყვითელი ძნელად ლღობადი ნივთიერება (ლ. ტ. 2497°). წყალბადთან 1500° -ზე). წარმოქმნის ჰიდრიდს ThH_4 . თორიუმის ჰიდრიდის წარმოქმნა ორ საფეხურად უნ-

და მიმდინარეობდეს:

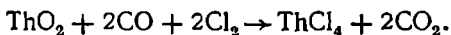


ლითონური თორიუმი კარგად იხსნება მარილმჟავაში და მეფის არაყში. აზოტმჟავას მოქმედებისას კი მის ზედაპირზე წარმოიქმნება თორიუმ-ორჟანგის დამცავი აფსკი და მეტად არ იხსნება. თორიუმი იხსნება 6—12 ნორმალობის აზოტმჟავაში ფტორ იონის (F⁻) თანდასწრებისას, რადგან იგი თორიუმ ორჟანგის დამცავ აფსკას შლის. თორიუმი თეთრი ფერის პლატინის მსგავსი ლითონია. მისი კუთრი წონა უდრის 11,5 გ/სმ³, ლობის ტემპერატურა 1827°. თორიუმი გლინვადია, ქედადია, ტვიფვრებადია, 1400°-მდე წახნაგდაცენტრებულ კუბურ კრისტალგისოსს იძლევა, უფრო მაღალ ტემპერატურაზე სხეულდაცენტრებულს. თორიუმი ბევრ ლითონთან იძლევა შენადნობებს და წარმოქმნის მრავალ ინტერმეტალურ ნაერთს, მსგალოთად, რკინასთან, კობალტთან, ნიკელთან, ოქროსთან, ვერცხლთან, ზისმუტთან, ბერილიუმთან და ა. შ. Th₂Bi₅-ის ხსნარი გალლობილ ბისმუტთან წარმოადგენს საწევს ჰომოგენურ რეაქტორისათვის. ძირითადად კი თორიუმი გამოიყენება როგორც ატომბირთვული საწვავი.

თორიუმის უმნიშვნელოვანესი ნაერთი თორიუმის ჰიდროჟანგი მიიღება თორიუმის მარილების ხსნარზე ამიაკის ან ტუტე ლითონების ჰიდროჟანგების მოქმედებით. Th(OH)₄ გამოიყოფა ძნელად ხსნადი, ლაბისებრ ნალექის სახით. ახლად დამზადებული თორიუმის ჰიდროჟანგი საკმაოდ ძლიერი ფუძეა, რომელიც არა მარტო მჟავებთან წარმოქმნის მარილებს, არამედ ჰაერის ნახშირორჟანგთანაც.

თორიუმის ჰიდროჟანგი გახურებით იშლება თორიუმ-ორჟანგის (ThO₂) წარმოქმნით. ThC₂ მიიღება აგრეთვე Th(NO₃)₄, Th(SO₄)₂ და სხვ. გახურებით. ჟანგბადში გავარკვარებული თორიუმი იწვის სითბოს გამოყოფით და თორიუმ-ორჟანგის წარმოქმნით. თორიუმ-ორჟანგი თეთრ ამორფულ ფხვნილს წარმოადგენს (დღ. ტ. ≅ 2800°).

თორიუმ-ქლორიდი ThCl₄ მიიღება წითლად გავარკვარებულ თორიუმ-ორჟანგზე ქლორისა და ნახშირორჟანგის ნარევის გატარებით:

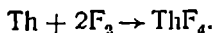
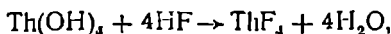


თორიუმ-ქლორიდი უფერო კრისტალია (დღ. ტ. 765°, დუდილის 922°). წყალში იხსნება და განიცდის ჰიდრატაციას და ნაწილობრივ ჰიდროლიზდება, რის შედეგად დიდი რაოდენობით გამოიყოფა სითბო.

თორიუმ-ქლორიდი ტუტე ლითონების ქლორიდებთან წარმოქმნის ორზაგ ზარილს MThCl₅, M₂ThCl₆, M₄ThCl₈ და კომპლექსურს M₂[ThCl₆],

$M_4[ThCl_5]$ და სხვა. დანარჩენი ჰალოგენებიც იჩენენ კომპლექსური მარილების წარმოქმნისადმი მიდრეკილებას.

თორიუმ-ფტორიდი ThF_4 მიიღება ლითონური თორიუმის, ჰიდროქსიდის ან სხვა ნაერთისა და ფტორის ან ფტორწყალბადის ურთიერთმოქმედებით, მაგალითად:



ანალოგიურად მიიღება $ThBr_4$ და ThI_4 .

თორიუმის სამი და ორვალენტოვანი ჰალოგენები, როგორცაა $ThCl_3, ThCl_2, ThBr_3, ThBr_2, ThI_3$ და ThI_2 , მიიღება ოთხვალენტოვანი თორიუმის ჰალოგენებთან ლითონური თორიუმის შევლოებით. წყლის თანდასწრებისას სამი და ორვალენტოვანი თორიუმის ჰალოგენები ჰიდროლიზდებიან და იქანგებიან ოთხვალენტოვანად.

თორიუმის მარილებიდან უმნიშვნელოვანესია: ფოსფატი $Th_3(PO_4)_4 \cdot 4H_2O$, პირფოსფატი $ThP_2O_7 \cdot 2H_2O$, ფტორიდი $ThF_4 \cdot 4H_2O$, იოდატი $Th(IO_3)_4$. თორიუმ-იოდატი იხსნება მხოლოდ კონცენტრულ აზოტმჟავაში. ეს მარილები მიიღება თორიუმის ხსნადი ნაერთებისა და შესაბამისი მჟავების ურთიერთმოქმედებით.

თორიუმის ოქსალიტი $Th(C_2O_4)_2 \cdot 6H_2O$ მიიღება (გამოილექება) მჟავე არეში ($PH = 3$) თორიუმის მარილის ხსნარზე ამონიუმ-ოქსალატის ქმედებით. $Th(C_2O_4)_2 \cdot 6H_2O$ წყალში უხსნადია. ძველად ხსნადია განზავებულ მჟავეებში. მაგრამ იხსნება ჭარბ ამონიუმ-ოქსალატში და კალიუმ-ოქსალატში, რადგან ამ დროს წარმოიქმნება ხსნადი კომპლექს ნაერთები: $(NH_4)_4[Th(C_2O_4)_4]$; $(NH_4)_2[Th_2(C_2O_4)_6]$; $K_4[Th(C_2O_4)_4]$ და $K_2[Th(C_2O_4)_6]$. ეს რეაქციები გამოიყენება იშვიათ მიწათა ელემენტებიდან თორიუმის გამოსაყოფად.

თორიუმ-ნიტრატი $Tn(NO_3)_4$ ცხელი ხსნარიდან გამოკრისტალდება თეთრი ფერის— $Th(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$ —ჰიდრატის სახით. ტუტე ლითონების მარილებთან ქმედებისას იგი წარმოქმნის კომპლექს ნაერთს, მაგალითად, ჰექსანიტრატთორიტს $M_2[Th(NO_3)_6]$ და $M[Th(NO_3)_6]$.

თორიუმ-სულფატი $Th(SO_4)_2$ კრისტალდება 9, 8, 6 და 4 მოლეკულა წყალთან თეთრი კრისტალების სახით. თუ ხსნარის ტემპერატურა 47° -ზე ნაკლებია, იგი გამოკრისტალდება $Th(SO_4)_2 \cdot 9H_2O$ სახით, ხოლო თუ ხსნარის ტემპერატურა 47° -ზე მეტია, $Th(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$ სახით. წარმოქმნის $M_4[Th(SO_4)_2]$ და $M_6[Th(SO_4)_6]$ ტიპის კომპლექს ნაერთებს.

თორიუმ-ნიტრატის ხსნარზე კონცენტრული გოგირდმჟავას მიმატებისას ნელა გამოილექება ჰიდრატებული სულფატი.

თორიუმ-სულფიდი. გოგირდწყალბადის არეში თორიუმის გახურებისას წარმოიქმნება ThS_2 . ვაკუუმში მისი შემდეგი გავარვარებისას ჯერ Th_2S_3 და შემდეგ კი ThS მიიღება. სამივე კრისტალური ნივთიერება მუქი ფერისაა, იხსნებიან მხოლოდ კონცენტრულ მჟავებში.

თორიუმის უხსნადი ნარილებია: $\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{ThP}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Th}(\text{CrO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Th}(\text{CH}_3)_2\text{CrO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{Th}(\text{MgCO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. თორიუმის ძნელად ხსნადი ნარილებია: $\text{ThF}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; K_2ThF_6 ; $\text{Th}(\text{IO}_3)_3$; $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$; $\text{Th}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Th}(\text{SO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ და $\text{ThFe}(\text{CN})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

თორიუმის მინერალური ნედლეულის გადაამუშავება. თორიუმის მისაღებად ჩვეულებრივად გამოიყენება მონაციტიანი ქვიშა (თორიატი), რომელიც ძირითადად შედგება თორიუმისა და იშვიათ მიწათა ელემენტების ფოსფატებისაგან. მონაციტიან ქვიშას $200-300^\circ$ ტემპერატურაზე შლიან გოგირდმჟავით. ამ დროს თორიუმი, იშვიათ მიწათა ელემენტები და ცირკონიუმი გადადიან ხსნარში. ხსნარს მოაშორებენ გაუხსნელ ნაწილს. შემდეგ ხსნარს აცივებენ, წყლით განაზავებენ და ანეიტრალებენ. ამ დროს თორიუმი დაილექება თორიუმ-სულფატის ორმაგი მარილის $\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ სახით, რომელიც თან წაიტაცებს ლანთანიდებისა და ცირკონიუმის სულფატებს. ამ ოპერაციის განმეორებითი ჩატარებისას იგი გასუფთავდება თანხლები ელემენტებისაგან, როგორცაა რკინა, მაგნიუმი, ალუმინი და სხვ. თორიუმთან ერთად რჩება მხოლოდ ლანთანიდები და ცირკონიუმი. თორიუმისაგან ლანთანიდებისა და ცირკონიუმის მოშორება შეიძლება სხვადასხვა ხერხით. ერთ-ერთ შემთხვევაში გამოყენებულია მჟავე არეში მათი ოქსალატების სხვადასხვა ხარისხით ხსნადობა. თორიუმის ოქსალატი ყველაზე ძნელად ხსნადია. ამიტომ მრავალჯერადი კვლავდალექვის მეთოდით შეიძლება თორიუმის განცალკევება ლანთანიდებისა და ცირკონიუმისაგან. ან კიდევ მათი ერთმანეთისაგან განცალკევება შეიძლება მათი სულფიდების წილადური კრისტალიზაციის მეთოდით.

პ რ ო ტ ა ქ ტ ი ნ ი უ მ ი (Pa), $Z=91$

პროტაქტინიუმი ბერძნულად ნიშნავს — პირველ რიგში, აქტინიუმის უშუალო წინაპარს. 1871 წ. მენდელეევიმა წინასწარ აღწერა პროტაქტინიუმის თვისებები და აღნიშნა, რომ თორიუმსა და ურანს შორის უნდა მოთავსდეს ჯერ კიდევ აღმოუჩენელი ელემენტი და მას

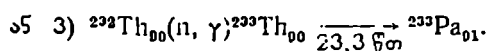
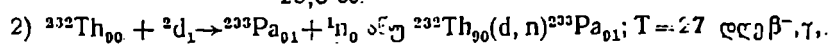
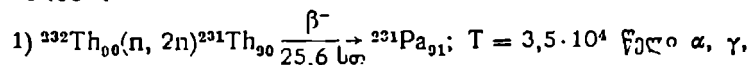
„ეკატანტალი“ უწოდა. მცირე სიციცხლის მქონე პროტაქტინიუმის იზოტოპი — პროტაქტინიუმ-234 ($T=6,7$ სთ) კ. ფაიანსის მიერ პირველად იქნა აღმოჩენილი და გამოყოფილი ურანის მადნიდან 1913 წელს.

პროტაქტინიუმი ურან-რადიუმის, აქტინო-ურანისა და ნეპტუნის მწკრივის წევრია. ბუნებაში პროტაქტინიუმის რაოდენობა უმნიშვნელოა — ურანის მადანში 1 ტონა ურანზე მოდის 0,3 გ პროტაქტინიუმი. პროტაქტინიუმის შემცველობა დედამიწის ქერქში შეადგენს 7.10-13%.

დღემდე ცნობილი ყველა მისი 15 იზოტოპი, მასის რიცხვით 224—237 რადიოაქტიურია. ამათგან ყველაზე ხანგრძლივი სიციცხლის მქონეა პროტაქტინიუმ-231, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=3,5 \cdot 10^4$ წელს.

ნეიტრონებით ბომბარდირებული ურანის წარმოების ნარჩენებისგან ღებულობენ პროტაქტინიუმს წონითი რაოდენობით, მაგრამ ეს ძალიან შრომატევადია და ძნელი.

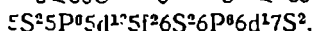
ხელოვნურად კი პროტაქტინიუმს ღებულობენ რეაქტორში აჩქარებული დეიტრონებით ან ნეიტრონებით თორიუმის ბომბარდირების შედეგად:



ლითონური პროტაქტინიუმი მიიღება PaF_4 -ის თერძული დაშლით ვაკუუმში ან ძლიერ ვაკუუმში PaF_4 -ის ელექტრონების ნაკადით აღდგენის საშუალებით. დიდი რაოდენობით კი PaF_4 -ის 1400°-ზე ბარიუმით აღდგენის საშუალებით: $\text{PaF}_4 + 2\text{Ba} \rightleftharpoons \text{Pa} + 2\text{BaF}_2$.

პროტაქტინიუმი მურა-ფოლადის ფერის ლითონია, კუთრი წონა—15,37 მ/სმ³. ჰაერში მდგრადია, იძლევა ტეტრაავონალურ კრისტალურ გისოსს.

პროტაქტინიუმის K, L, M და N ელექტრონული გარსები შევსებულია. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



ზოგიერთი მონაცემის თანახმად, წყალხსნარში Pa^{4+} ქვემოგარსში 5f¹ ელექტრონია.

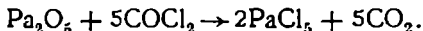
ქიმიური თვისებები. პროტაქტინიუმი ძალიან ემსვავსება ტანტალს. წყალხსნარებში პროტაქტინიუმისათვის უფრო დამახასია-

თებელია ოთხი და ხუთი ვალენტოვნობა. წყალხსნარებში პროტაქტინიუმის ნაერთები ადვილად ჰიდროლიზდებიან კოლოიდის წარმოქმნით. ოთხვალენტოვანი პროტაქტინიუმი ჰაერზე იყანგება; Pa^{4+} -ის ანალოგებია ცირკონიუმი, თორიუმი, ტანტალი და ჰაფნიუმი.

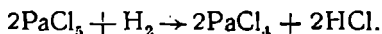
პროტაქტინიუმის უმნიშვნელოვანესი ნაერთებია მისი ხუთჯანგ Pa_2O_5 ადვილად მიიღება ჟანგბადის არეში ლითონ-პროტაქტინიუმის გახურებით ან მისი ჰიდროქსიდის, ოქსალტის ან სხვა ნაერთთა გავარვარებით. Pa_2O_5 წყალში პრაქტიკულად უხსნადია. წყალბადის არეში Pa_2O_5 -ის 1550° -ზე გახურებით მიიღება შავი ფერის პროტაქტინიუმის ორჯანგი PaO_2 , რომელიც გოგირდმჟავაში და მარილმჟავაში ცუდად იხსნება.

პროტაქტინიუმის ხუთფტორიდი PaF_5 მიიღება Pa_2O_5 ფტორ-წყალბადმჟავაში გახსნით, კალიუმის ფტორიდის თანდასწრებისას კი მიიღება K_2PaF_7 , რომელიც ნემსისებრ კრისტალებად გამოკრისტალდება ხსნარის აორთქლების დროს. უწყლო პროტაქტინიუმის ხუთფტორიდი მიიღება Pa_2O_5 -ზე BrF_3 ან BrF_5 600° ტემპერატურაზე ქმედებით.

პროტაქტინიუმის ხუთქლორიდი PaCl_5 წარმოიქმნება Pa_2O_5 -ის ფოსგენის ან ოთხქლორბანის ნახშირის ნაკადში 550° -ზე გახურებით:



PaCl_5 ღია ყვითელი ფერის კრისტალური ნაერთია. ლღევა 300° -ზე. მაგრამ სუბლიმაცია კი უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ვალლობამდე 150° -ზე მიმდინარეობს. წყალბადის ნაკადში 600° -ზე გახურებისას გარდაიქმნება მომწვანო-ყვითელ მარილად—ტეტრაქლორიდად PaCl_4 .



PaCl_4 აქროლადია, 400° -ზე ჟანგბადის არეში PaCl_4 -ის გახურებით მიიღება PaO_2 -სა და Pa_2O_5 -ის ნარევი.

პროტაქტინიუმის ოთხფტორიდი PaF_4 მიიღება პროტაქტინიუმის მარილების ხსნარზე ფტორ-იონების მოქმედებით.

PaF_4 მიიღება აგრეთვე Pa_2O_5 -ისა და ხუთი ან სამფტორიდ-ბრომის ურთიერთქმედებით 600° ტემპერატურის პირობებში.

უწყლო პროტაქტინიუმის ოთხფტორიდი მიიღება პროტაქტინიუმის ორჯანგზე ფტორისა და ფტორწყალბადმჟავას ნარევის მოქმედებით 500 — 600° -ზე. PaF_4 ჰაერზე მდგრადია, მაგრამ ტენიან ჰაერზე გახურებისას გარდაიქმნება PaO_2 -ად. ლითონური პროტაქტინიუმის წყალბადის არეში 250° -ზე გახურებისას მიიღება შავი ფერის კრისტალური ჰიდრიდი PaH_3 .

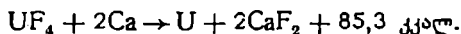
უ რ ა ნ ი დ ე ბ ი. ურანის მომდევნო ელემენტები, რომელთა რიგობრივი რიცხვი ძვეს ინტერვალში 92—95-მდე, უნდა მოთავსდნენ ერთ უჯრედში — პერიოდული სისტემის მეექვსე ჯგუფის მე-10 მწკრივში. ეს ოთხეული კი ცალკე ოჯახის სახითაა განლაგებული მწკრივში პერიოდული სისტემის ქვემოთ.

ურანი აღმოაჩინა 1789 წელს მ. კლაპროტიმ. ბუნებრივი ურანი სამი იზოტოპის ნარევეს წარმოადგენს: ურან-238 (99,285%), ურან-235 (0,710%), ურან-234 (0,005%). მისი შემცველობა დედამიწის ქერქში უდრის უკანასკნელის წონის 3.10⁻⁴%. ბუნებაში ურანით მდიდარი მინერალები, რომელთა შემადგენლობაში ურანი >1%, იშვიათია. ურანი მცირე <0,5% შემცველობისა კი — საკმაოდ გავრცელებულია. ურანის კვალი შეიძლება აღმოჩენილ იქნეს მრავალ მინერალში, მადანში, ნიადაგსა და წყალში. ურანის მინერალებიდან ყველაზე გავრცელებულია ურანის ფისი (ურანიტი). რუხი-შავი, მუქ-მწვანე ან ყავისფერი მინერალია, რომელშიც U₃O₈ შემცველობა 90% აღწევს. მინერალ ურანიტი UO₂·UO₃ იშვიათ მიწათა ელემენტებისა და სხვ. უანგეულების ნარევეს წარმოადგენს, მუქნაცრისფერი ან ყავისფერისაა. მასში UO₂·UO₃-ის შემცველობა 65—75% -ს აღწევს, კარნოტიტი K₂(UO₂)₂·(VO₄)₂·(1—3) H₂O ყვითელი ფერის მინერალია, რომელიც UO₂-ს 50—45% -მდე შეიცავს. აუტუნტიტი Ca(UO₂)₂·(PO₄)₂·8H₂O მომწვანო-ყვითელი ფერისაა, UO₂-ს 63% -მდე შეიცავს და სხვ.

ლითონური ურანი 1883 წელს მიიღო მუჟსანიმ შემდეგნაირად: ურანის ფისი გახსნა აზოტმჟავაში და მიიღო ურანილ-ნიტრატი UO₂(NO₃)₂. ურანილ-ნიტრატის გავარეარებით მიიღო ურან-სამჟანგი UO₃, ურან-სამჟანგის ელექტროლუმულში ნახშირით აღდგენით კი მიიღო ლითონური ურანი.

ამჟამად ლაბორატორიულად ლითონურ ურანს ღებულობენ ურანიტის მაგნიუმით ან ნახშირჟანგის ატმოსფეროში გახურებით.

სამრეწველო რაოდენობით (რეაქტორებისათვის და სხვა მიზნებისათვის) მას ღებულობენ ურან-ფტორიდის-ლითონური კალციუმით ან მაგნიუმით აღდგენის გზით:



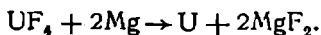
ეს რეაქცია ეგზოთერმულია. მიმდინარეობს 85,3 კკალ სითბოს გამოყოფით. ამიტომ წინასწარ გახურების შემდეგ რეაქცია თვითგახურებით მიმდინარეობს. ამ პროცესს ატარებენ ცეცხლგამძლე MgF₂-ით

ამოგებული და ინერტული აირით გაცეხებული ჰერმეტიკულად დახურული ფოლადის ჭურჭელში. ურანის ალდგენის შემდეგ მიღებულ ზოდს გრაფიტის ტიგელში ათავსებენ და ვაკუუმის ქვეშ გააღნობენ. ეს ოპერაცია კიდევ უფრო ასუფთავებს ურანს. ასეთ ძლიერ გასუფთავებას მიმართავენ იმიტომ, რომ ლითონური ურანი ბირთვული რეაქტორებისათვის გამოსადეგია მხოლოდ მაშინ, თუ იგი 10⁻⁴%-ზე ნაკლებ მინარევებს შეიცავს.

ურანის მადნიდან ლითონური ურანის მიღების მთელი პროცესი ასეთია: ურანის მინერალს ხსნიან მაგარ გოჯირდის ან აზოტმქაევაში გახურებით. მისი გადამუშავების ერთ-ერთი ტექნოლოგიური პროცესის დროს, ურანის ექვსვალენტოვანობანდე დაეანგვის მიზნით, ურანის კონცენტრატს უმატებენ MnO₂ და რადიუმის სარჩულად კი BaCl₂. ამის შემდეგ ურანის მადნის გოჯირდქაევათი გახსნის შემთხვევაში მიიღება UO₂SO₄, მაგნიუმის, რკინის, ალუმინის, კალციუმისა და სხვა ელემენტების მინარევებიანი ხსნარის. უხსნადი ნაწილი შედგება სილიციუმი, მეტწილად ბარიუმი, რადიუმი და ტყვიისაგან. რადიუმის ფრაქცია მიდის ცალკე გადასამუშავებლად.

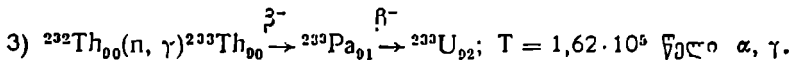
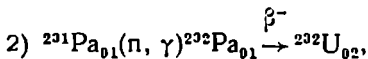
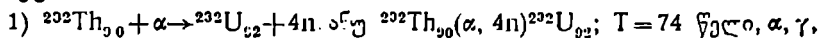
თხევადი ფრაქციის გამოყოფის შემდეგ მას წინასწარ კალციუმის ჰიდროქსანგით ანეიტრალებენ, შემდეგ უმატებენ სოდას PH-10-მდე. ამ დროს რკინა, მანგანუმი, ალუმინი ილექება მათი ჰიდროქსანგების სახით, ტყვია კი კარბონატის სახით, რომლებიც თან წაიტაცებენ სხვა მიკროკომპონენტებსაც. ურანი კი ხსნარში რჩება, რადგან წარმოქმნის ხსნად კომპლექს მარილს Na₄ [UO₂(CO₃)₃]. ხსნარისა და ნალექის განცალკევების მიზნით მას უმატებენ ნატრიუმის ტუტეს მანამ, სანამ ურანი Na₂S₂O₇-ის სახით მთლიანად არ გამოილექება. ამის შემდეგ ნალექს ხსნიან აზოტმქაევაში, მიღებულ UO₂(NO₃)₂-ის ექსტრაჰირებას ახდენენ საწინააღმდეგო დინების კოშკში ტრიბუთილფოსფატით, გამომხსნარებელ რეაგენტად კი იყენებენ NH₄NO₃. ექსტრაჰირების შემდეგ ტრიბუთილფოსფატიდან ურანს ამოწვილავენ მცირე რაოდენობის წყლით.

საბოლოოდ ურანი გადაყავთ ნალექში ზეყანგების სახით, რომელთა 400°-ზე გახურებით ლებულობენ UO₃. ურანის სამყანგს ალდგენენ UO₂-მდე აიროვანი ამიაკის ნაკადში 750°-ზე გახურებით. მისგან ლებულობენ ურან-ოთხვტორიდს UF₄, რომელსაც იყენებენ ლითონური ურანის მისაღებად ზემოაღნიშნული წესით:



ურანის მადნის გადამუშავების სხვა ტექნოლოგიური ხერხების გამოყენება განპირობებულია ურანის შემადგენლობით.

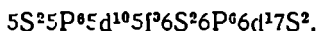
ხელოვნურად ურანს ღებულობენ შემდეგი ატომბირთვული რეაქციით:



ლითონური ურანი კრისტალდება სამი ალოტროპული მოდიფიკაციის მოცემით: α -ურანი იძლევა ორთორომბულ გისოს, მდგრადია 665° -მდე, β -ურანი — ტეტრაგონალურ გისოს, რომელიც 770° -ზე გარდაიქმნება γ -ურანად, რომელიც სხეულდაცენტრებულ კუბურ გისოსად კრისტალდება. ურანის ღებულობის ტემპერატურა უდრის 1133° , დუღილის — 3900° , კუთრი წონა $19,04$ გ/სმ³.

ურანი ვერცხლისფერი თეთრი ლითონია, გაზის მდგომარეობაში მისი სპექტრის გამოსხივებას შეესაბამება შემდეგი ელექტრული სტრუქტურა.

ურანის K, L, M და N ელექტრული გარსები შეესებულა. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:

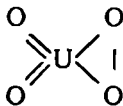


მყარ და ხსნარის მდგომარეობაში ელექტრული სტრუქტურა უფრო რთულია. ამ შემთხვევაში მონაწილეობას უნდა ღებულობდეს 5f ან 6d ელექტრონებიც, მათი მონაწილეობა დამოკიდებულია ქიმიურ მდგომარეობაზე, იონის მუხტისა და ფიზიკურ მდგომარეობაზე. ყოველ შემთხვევაში ცნობილია, რომ ურანის ატომბირთვიდან უფრო დაშორებული 6 ელექტრონი შედარებით სუსტადაა დაკავშირებული და წარმოადგენს სავალენტო ელექტრონებს.

ურანის ვალენტოვნობა იცვლება 2-დან 6-მდე; ურანი სამვალენტოვან მდგომარეობაში ძლიერი აღმდგენელია. ოთხვალენტოვანი ადვილად იყვანება, ხუთვალენტოვანი უმდგრადია. ყველაზე მდგრადია ექვსვალენტოვანი ურანის ნაერთები. ხუთი და ექვსვალენტოვან მდგომარეობისას ხსნარში ურანი იმყოფება ურანილ-იონების — UO_2^{2+} , UO_3^{2+} , სახით. პერიოდულ სისტემაში მისი მდგომარეობიდან (VI ჯგუფი) გამომდინარე, ექვსვალენტოვანი ურანი ფუძე თვისებებს უფრო

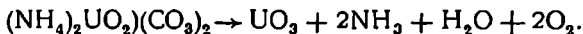
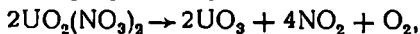
ამჟღავნებს, ვიდრე მისი ჰომოლოგი ვოლფრამი, რითაც აიხსნება მის მიერ ურანატების, დიურანატებისა და პერურანატების წარმოქმნა.

ურანის უმნიშვნელოვანესი ქანგეულები. ლითონური ურანი ქიმიურად აქტიური ელემენტია. ჰაერზე ადვილად იქანება. ცნობილია ურანის რამდენიმე ქანგეული: UO — ერთქანგი, შემჩნეულ იქნა ლითონურ ურანის ზედაპირზე თხელი აფსკის სახით; UO_2 — ორქანგი, მუქი ყავისფერი ფხვნილი; UO_3 — ურანის ანჰიდრიდი, მისი ფერი იცვლება წითლიდან ნარინჯ-ყვითელ ფერამდე. U_3O_8 (ანუ $UO_2 \cdot 2UO_3$) ქანგ-ქვექანგი, მუქი მწვანე ყველაზე მდგრადი ქანგეულია. 700° -ზე გახურებისას ურანის ყველა ქანგეული გარდაიქმნება U_3O_8 -ად, მაგალითად, $3UO_2 + O_2 \rightarrow U_3O_8 + 75300$ კალ. ცნობილია აგრეთვე U_2O_5 და ურანის ზექანგი UO_4 . ურანის ზექანგი მიმდევრულად შებმულ ორ ქანგბად-ატომს შეიცავს:

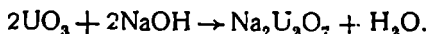


ურან-ორქანგი UO_2 მიიღება UO_3 ან U_3O_8 წყალბადით ან სხვა აღმდგენლის აღდგენის საშუალებით ან UO_3 -სა და გოგირდის ურთიერთქმედებით, მუქიყავისფერი ფხვნილის სახით.

ურან-სამქანგი UO_3 მიიღება ურანილ-ნიტრატის 500° -ზე გახურებით ან ამონიუმ-ურანილ-კარბონატის 300° -ზე გახურებით:



ურან-სამქანგი მიიღება აგრეთვე UO_3 , U_3O_8 და NO_2 -ის ურთიერთქმედებით $250-305^\circ$ ტემპერატურაზე. ურან-სამქანგი ამფოტერული ქანგეულია; მჟავებში იხსნება ურანილ-მარილების წარმოქმნით: $UO_3 + 2HCl \rightarrow UO_2Cl_2 + H_2O$. ტუტეებში გახსნისას მიიღება ურანატები-ურანამჟავას მარილები:

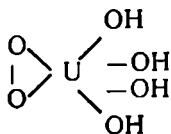


U_2O_5 მიიღება $KHCO_3$ ხსნარში U_3O_8 ხანგრძლივად გახურებით:



ურანის ზექანგი UO_4 გამოილეკება ურანილის მარილის ხსნარზე წყალბადის ზექანგის მოქმედებისას ჰიდრატ $UO_4 \cdot 2H_2O$ ანუ $UO_2(OH)_4$ -ის სახით. დალეკვა უკეთესად მიმდინარეობს წყალბადის ზექანგის ჰარბად გამოყენებისას. ხსნარის PH დაახლოებით უნდა იყოს 0,5—3,5. ურანის ზექანგის წყალში ხსნადობაა 1 მგ/ლ. სხვა ელექტროლიტების თანდასწრება მის ხსნადობას აძლიერებს.

ურანის ზეჟანგის ჰიდრატის $UO_4 \cdot 2H_2O$ სტრუქტურა გამოისახება ფორმულით:

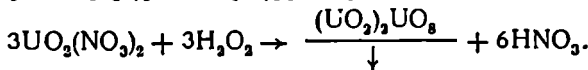


ჟანგბადის ატმოსფეროში 125° -მდე გახურებისას ურანის ზეჟანგი იშლება UO_3 -ის წარმოქმნით, ხოლო ჰაერზე 140° -მდე გახურებისას კი U_3O_8 -ად გარდაიქმნება.

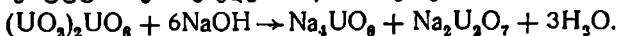
ურანის ზეჟანგს კი შეესაბამება ზეურანმჟავა H_4UO_8 , რომლის მარილები მიიღება ურანის ზეჟანგისა და ტუტის ურთიერთქმედებით:



მეორე ვარიანტის მიხედვით ზეურანმჟავას მარილები გამოიყოფა ყვითელი ფერის მასის სახით, შემჟავებული ურანილის მარილზე წყალბადის ზეჟანგის მოქმედებით, შემდეგი სქემის მიხედვით:

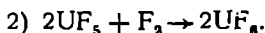
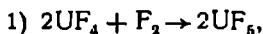


თუ ნალექზე ტუტით ვიმოქმედებთ, წარმოიქმნება

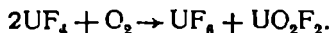


მჟავებში პერურანატები იშლება ურანილის მარილების წარმოქმნით და წყალბადი გამოიყოფა.

ექვსეული ეტოვანი ურანის ნაერთები. ურან-ჰექსაფტორიდი UF_6 მიიღება ლითონურ ურანზე ფტორის ქმედებით ქლორის თანდასწრებისას, ქლორის დაუსწრებლად კი მიიღება UF_4 ან ცილვე UF_6 მიიღება UF_4 -სა და ფტორის ურთიერთქმედებით 250° ტემპერატურის პირობებში, ნატრიუმ-ქლორის თანდასწრებით. UF_6 -ის მიღება ორ საფეხურად მიმდინარეობს. ჯერ მიიღება ურან-პენტაფტორიდი, შემდეგ კი ურან-ჰექსაფტორიდი:

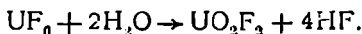


ურან-ჰექსაფტორიდი მიიღება აგრეთვე UF_4 -ის ჰაერის ჟანგბადით დაჟანგვით. შემდეგი სქემის მიხედვით:

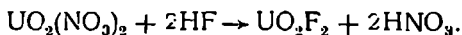


UO_2F_2 კი ურან-ჰექსაფტორიდში გადაჰყავთ ფტორის მოქმედებით მაღალ ტემპერატურაზე. ურან-ჰექსაფტორიდი უფრო კრისტალური ნივ-

თიერებაა, ძალიან აქროლადია; ქროლდება $56,5^{\circ}$ -ზე, მაღალი წნევის ქვეშ ლღვება $64,0^{\circ}$ -ზე, ჰიგროსკოპულია. UF_6 -ის ძლიერ აქროლადობა-ზეა დამყარებული ურანის იზოტოპების ერთმანეთისაგან დაცილება. წყალში ჰიდროლიზდება.

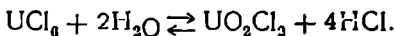


ამ თვისების გამო ის მეტისმეტად საშიშია, რადგან წყლის ორთქლთან წარმოქმნის ძალიან აკრესულ ფუორწყალბადქვეყას (ანუ მლღობ მქვეყას). ურანილ-ფტორიდი UO_2F_2 მიიღება სირაჟის მსგავსი სითხის სახით U_3O_8 ან UO_3 ფტორწყალბადქვეყაში გახსნით. ურანილ-ფტორიდი მიიღება იგრეთვე:



ურანილ-ფტორიდი წყალში იხსნება და იძლევა მრავალ კომპლექსს ნაერთს.

ურან-ჰექსაქლორიდი UCl_6 მიიღება UCl_4 -ის $\sim 350^{\circ}$ -ზე ქლორით დაქანგვის გზით ან UCl_5 -ის თერპული დაშლით: $2UCl_5 \rightleftharpoons UCl_4 + UCl_6$. UCl_6 იხსნება ოთხქლორიან ნახშირბადში და სხვა ორგანულ გამხსნელებში. წყალში ჰიდროლიზდება ურან-ჰექსაფტორიდის ანალოგიურად:



UCl_6 შავი-მომწვანო ფერისაა, არაძვრადია, 103° -ზე იშლება შემდეგი სტემის მიხედვით: $UCl_6 \rightarrow UCl_4 + Cl_2$.

ურანილ-ქლორიდი UO_2Cl_2 მიიღება აგრეთვე UO_3 -ისა და მარილ-მქვეყას ურთიერთქმედებით ან ურან-ორქანგის ქლორით დაქანგვის გზით. უწყლო ურანილ-ქლორიდი ღია-ყვითელი ფერის ჰიგროსკოპული ნაერთია. კარგად ხსნადი ურანის ექვსვალენტოვანი ნაერთებია: ურანილ-ნიტრატი $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, სულფატი $UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$, აცეტატი $UO_2(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$, ურანილ-პერქლორატი $UO_2(ClO_4)_2 \cdot 4H_2O$. ყველა ეს მარილი მომწვანო-მოყვითალო ფერისაა. მათი კრისტალები ფლუორესცენციის თვისებას იჩენენ. ამათგან უმნიშვნელოვანესია ურანილ-ნიტრატი, რომელიც მიიღება ურანის ქანგეულების ან $(NH_4)_2U_2O_7$ ან კიდევ $(NH_4)_2UO_2$ -ის აზოტმქვეყაში გახსნით. წყალხსნარიდან ურანილ-ნიტრატი გამოკრისტალდება ჰექსაჰიდრატის სახით. კონცენტრულ გოგირდმქვეყიან ვაკუუმში გაჩერებისას ჯერ მოსცილდება სამი მოლეკულა წყალი, შემდეგ კი ერთი, ორი მოლეკულა წყალი კი შიდა კოორდინაციულ სფეროში იმყოფება, რამლებიც შეიძლება ჩანაცვლდნენ სხვა ჯგუფით. ნახშირორქანგის ნაკადში ურანილ-ნიტრატი-ჰიდრატის 160° -ზე გახურებისას მიიღება

$UO_2(NO_3)_2 \cdot 2UO_3$. უწყლო UO_3 ან U_3O_8 და N_2O_4 -ის 25° -ზე ურთიერთქმედებით მიიღება $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2NO_2$. ურანილ-ნიტრატ-ჰიდრატის $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ -ის 163° -ზე ვაკუუმში გასურებით მიიღება უწყლო ურანილ-ნიტრატი $UO_2(NO_3)_2$. ურანილ-ნიტრატი წყალში კარგად ხსნა-ლია, ადვილად ამოიწვლილება მრავალი ორგანული გამხსნელით (დიეთილეთერი, ტრიბუტილფოსფატი და სხვა.). ურანილ-ნიტრატი გამოიყენება ანალიზურ ქიმიკში და ურანისა და პლუტონიუმის წარმოებაში.

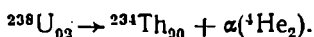
სათანადო კათიონების თანდასწრებითურთ ურანილ-ნიტრატის ხსნარის ელი აორთქლების დროს წარმოიქმნება შემდეგი ტიპის კომპლექს ნაერთები: $MUO_2(NO_3)_3$ (სადაც $M = NH_4, K, Rb, Cs, Tl$) და $M_2UO_2(NO_3)_4$ (სადაც $M = NH_4, K$).

ექვსვალენტოვანი ურანის თითქმის ყველა მარილი ხსნად კომპლექსურ ნაერთების წარმოქმნის უნარს იჩენს, ტუტე არეშიაც კი, კარბონატების, ოქსალატების, ტუტე ლითონების სულფატების ან ამონიუმის თანდასწრებისას, კომპლექსურ იონების ქარბად წარმოქმნის მიდრეკილების გამო. ურანილ-სულფატის კომპლექს ანიონის ზოგადი ფორმულაა: $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$; ცნობილია აგრეთვე ურანილ-კარბონატის კომპლექს ანიონები $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$, $[UO_2(CO_3)_2]^{2-}$; $[UO_2(CO_3)_3]^{6-}$, რომლებიც წარმოადგენენ $K_2[UO_2(CO_3)_2]$, $K_4[UO_2(CO_3)_3]$ და $K_6[UO_2(CO_3)_3]$ კომპლექს ნაერთების ანიონებს. ურანი წარმოქმნის აგრეთვე ორმაგი ურანილ-სულფატი კალიუმის მარილს:

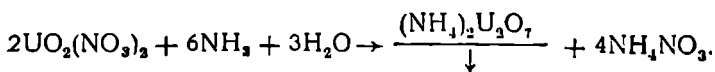
$K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$, აცეტატ-ურანილი კი იძლევა შემდეგ ორმაგ მარილს $NaUO_2(CH_3CCO)_3$.

ექვსვალენტოვანი ურანის ამ თვისებით სარგებლობენ ურანიდან თორიუმის მიკრომინარევის მოსაცილებლად.

ურანი ყოველთვის შეიცავს თორიუმს, ჩადგან ურანის ალფა-გარდაქმნისას წარმოიქმნება შემდეგი სქემის მიხედვით:

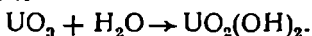


ურანისა და თორიუმის ერთმანეთისაგან დაცილება მიმდინარეობს რამდენიმე საფეხურად. პირველად ურანილ-ნიტრატის ხსნარს უმატებენ გარკვეული რაოდენობის სამქლორიან რკინას და ამიაკს. წარმოქმნილი რკინის ჰიდროქსატი $Fe(OH)_3$ პრაქტიკულად მთლიანად წაიტაცებს თორიუმს, მაგრამ ამავე დროს გამოილექება დიურანტიც შემდეგი რეაქციის თანახმად:



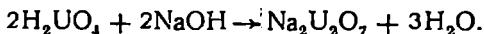
ამონიუმ-დიურანატი ნალექს კი ამუშავებენ ამონიუმის კარბონატის ხსნარით. ამ დროს ამონიუმ-დიურანატი გაიხსნება $UO_2CO_3 \cdot 2(NH_4)_2CO_3$ -ის წარმოქმნით. ხოლო თორიუმი ნალექში რჩება, რადგან თორიუმის მიკროკონცენტრაციის შემთხვევაში მას მტკიცედ მიიტაცებს რკინის ჰიდროქანი. მაკროკონცენტრაციისას ეს მეთოდი არ გამოიყენება, ვინაიდან აღნიშნულ პირობებში თორიუმიც წარმოქმნის ხსნად კომპლექსს. ურანილის უხსნადი მარილებია: $(UO_2)Fe(CN)_6$, UO_2S და სხვ. $(UO_2)Fe(CN)_6$ მიიღება ურანილის მარილის ხსნარისა და $K_4Fe(CN)_6$ -ის ურთიერთქმედებით, ხოლო UO_2S კი ურანილის მარილის ხსნარისა და $(NH_4)_2S$ -ის ურთიერთქმედებით. UO_2S განზავებულ მჟავებში ხსნადია, წყალში კი უხსნადია, მაგრამ ტენიან ჰაერში ადვილად გარდაიქმნება პრაქტიკულად უხსნად, ყვითელი ფერის ჰიდროქსიდად $UO_2(OH)_2$ ანუ H_2UO_4 (ურანის მჟავად).

ურანილ-ჰიდროქანი $UO_2(OH)_2$ მიიღება აგრეთვე UO_3 -ის წყალში ხანგრძლივად დუღებით:



ურანილ-ჰიდროქანი ამფოტერულია, მაგრამ უფრო მეტად ფუძის თვისებებს იჩენს, ვიდრე მჟავისა.

ტუტეების მოქმედებით ურანის ჰიდროქანი ხსნარში არ გადადის, რადგან ურანატები (ურანმჟავას მარილები) ძნელად ხსნადია. მათი ურთიერთქმედება შემდეგი სქემით გამოისახება:

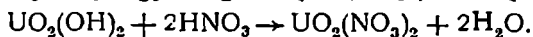


ნატრიუმ-დიურანატი მიიღება აგრეთვე ურანილის რომელიმე მარილის წყალხსნარზე ნატრიუმის ტუტის მოქმედებით:



Na_2UO_4 ტიპის მონოურანატი წყალხსნარში არ წარმოიქმნება, მას ლებულობენ Na_2O და UO_3 -ის შეღობით.

მჟავებში ურანის ჰიდროქანი ადვილად იხსნება და წარმოქმნის მომწვანო-მოყვითალო ფერის ურანილის (UO_2^{2+}) მარილს:

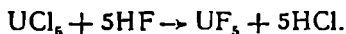


ამრიგად, ნეიტრალურ და მჟავე არეში ექვსვალენტოვანი ურანი იძლევა ურანილის ორვალენტოვან კათიონს UO_2^{2+} , ხოლო ტუტე არეში კი — ექვსვალენტოვანი ურანი გადადის ანიონის მდგომარეობაში — დიურანატის ანიონში $U_2O_7^{2-}$, ე. ი. ამჟღავნებს ამფოტერულობას. ურანატები და დიურანატები ძნელად ხსნადი არიან.

UBr_6 და UI_6 სინთეზირებულნი არ არის.

ურანის ძნელად ხსნადი ზარილებია: ამონიუმ-ურანილფოსფატი $UO_2NH_4PO_4$, ნატრი-ურანილაცეტატი $NaUO_2(CH_3COO)_2$ და სხვა. ნატრი-ურანილაცეტატი გამოიყენება ურანის განსაზღვრისათვის; ამ რეაქციით ურანის სრული გამოლეკვა მიმდინარეობს ურანილის მარილის 2 ნორმალურ ხსნარზე ნატრიუმის აცეტატის მაძლარი ხსნარის მოქმედების დროს. ხსნარებში ხუთი და ექვსვალენტოვანი ურანი ყოველთვის არსებობს ურანილ-იონების UO_2^{2+} და UO_2^{3+} სახით.

ხუთვალენტოვანი ურანის ნაერთები. ურან-პენტაფტორიდი UF_5 მიიღება ურან-პენტაქლორიდისა და ფტორწყალბადმეავას ურთიერთმოქმედებით:



აგრეთვე ურან-ჰექსაფტორიდისა და ურან-ტეტრაფტორიდის ურთიერთ-ქმედებით 200° -ზე გახურებისას.



ურან-პენტაქლორიდი UCl_5 მიიღება ურან-ტეტრაქლორიდის თხევადი ქლორით დაქანგვის გზით 550° -ზე, U_3O_8 -სა და ქლორის ურთიერთქმედებით 650° -ზე, და ლითონური ურანისა და ქლორის უშუალო ურთიერთქმედებით. ურან-პენტაქლორიდი UCl_5 იხსნება გოგირდნახშირბადში, მეთილისა და ეთილის ეთერში, ეთილაცეტატში. გახურებისას UCl_5 იშლება UCl_4 -სა და UCl_6 -ის წარმოქმნით. წყალში UCl_5 პრაქტიკულად მთლიანად ჰიდროლიზდება. UBr_5 და UF_5 მიღებული არ არის.

ოთხვალენტოვანი ურანის ნაერთები. ოთხვალენტოვანი ურანის მარილების წყალხსნარზე ტუტეების ქმედებით მიიღება უხსნად ურანის ჰიდროჟანგი $UO_2 \cdot 2H_2O$ ანუ $U(OH)_4$. იგი მომწვანო ფერისაა, უმდგრადია და ელემენტარული უანგბადის ქმედებით იქანგება ექვსვალენტოვნობამდე.

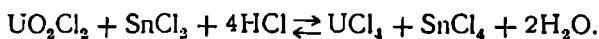
ურან-ტეტრაფტორიდი UF_4 უხსნადი მარილია, მიიღება UO_2 -ის ფტორწყალბადის ნაკადში 250° -ზე გახურებით. იგი მიიღება აგრეთვე ურან-ორჟანგზე ან ლითონურ ურანზე ფტორწყალბადის ქმედებით, ან კიდევ, ფტორწყალბადმეავაში U_3O_8 გახსნით და $CFCl_3$ და CF_2Cl_2 -ის ნაკადში 400° -ზე UO_2 -ის გახურებით.

ურანის სულფატის $U(SO_4)_2$ -ის ხსნარზე ფტორიდების ქმედებისას ჯერ წარმოიქმნება ხსნადი კომპლექსი ნაერთი $H_2[U(SO_4)_2F_2]$, რომელიც ფტორიდების შემდეგი ზიზატებით იშლება. ამ დროს ურან-ტეტრაფტორიდის ამორფული ნალექი გამოიყოფა. თუ მიღებულ ნალექს 24 საათის ხანგრძლივობით 1% ფტორწყალბადმეავაში ავანჯღრევთ, მივიღებთ

კრისტალურ ჰიდრატს $2UF_3 \cdot 5H_2O$, რომელიც 100° -ზე გახურებით გარდაიქმნება $UF_4 \cdot H_2O$.

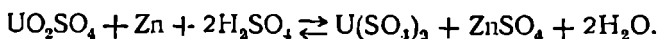
ექვსევალენტოვანი ურანის Fe^{2+} -ით აღდგენისას, F^- და Na^+ იონების თანდასწრების დროს, გამოიყოფა $NaUF_6$, ხოლო ოთხევალენტოვანი ურანის ტუტე ლითონების ფტორიდებით დალექვისას მიიღება Na_2UF_6 და KU_2F_9 .

ურან-ტეტრაქლორიდი UCl_4 მიიღება გავარჯარებულ ურან-ორქანგისა და ნახშირის ნარევეში ქლორის ნაკადის გატარებით და ურან-ორქანგისა და ოთხქლორიან ნახშირბადის ურთიერთქმედებით $400-450^\circ$ -ზე. ურან-ტეტრაქლორიდი მიიღება აგრეთვე შემდეგი რეაქციის თანახმად:



ურან-ტეტრაქლორიდი მუქი-მწვანე ფერისაა. მისი ლღობის ტემპერატურა უდრის 590° , დუღილისა კი 792° . მიღებულია აგრეთვე მუქი ყავისფერი UBr_4 და შავი ფერისა UF_4 .

ურანის სულფატი $U(SO_4)_2$ მიიღება ექვსევალენტოვანი ურანის სულფატის აღდგენით:



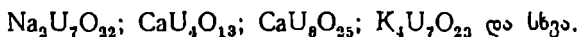
ურანის ოქსალატი $U(C_2O_4)_3 \cdot 6H_2O$ მიიღება ოთხევალენტოვანი ურანის წყალ-ხსნარიდან ამონიუმ-ოქსალატით ურანის დალექვის დროს. დამლექვად კონცენტრული მეთანმეთეას გამოყენებისას ნალექი შემდეგი შემადგენლობისაა: $U_2H_2(C_2O_4)_6 \cdot 8H_2O$.

ურანის ოქსალატი წყალში პრაქტიკულად უხსნადია, სუსტ მჟავებში ძნელად ხსნადია, ადვილად იშლება ტუტის ქმედებით და კარგად იხსნება ტუტე ლითონების ოქსალატების თანდასწრებისას შემდეგი კომპლექს ნაერთების წარმოქმნით: $K_4[U(C_2O_4)_4] \cdot 5H_2O$; $K_6[U_2(C_2O_4)_7] \cdot 8H_2O$; $K_2[U_2(C_2O_4)_7] \cdot 8H_2O$. ცხელ მარილმეთეასა და გოგირდმეთეაში ურანის ოქსალატის გახსნის დროს წარმოიქმნება: $U_2Cl_2(C_2O_4)_3 \cdot 12H_2O$ და $USO_4(C_2O_4)_3 \cdot 3H_2O$. ურანის ოქსალატი გამოიყენება ანალიზურ ქიმიკაში ურანის წონითი განსაზღვრისათვის.

სამვეალენტოვანი ურანის ნაერთები ნაკლებად მდგრადნი არიან. ურან-ჰიდრიდი UH_3 მიიღება ურანის მიერ წყალბადის შთანქმით $250-300^\circ$ -ზე. ურან-ჰიდრიდი წყალთან და მჟავებთან ურთიერთმოქმედებს წყალბადის გამოყოფით. ააღდება კონცენტრული აზოტმეთეათი და 30% წყალბადის ზეჟანგით დაჟანგვისას.

ურან-სამეტორიდი UF_3 მიიღება UF_4 -ის წყალბადით აღდგენის გზით 1000° -ზე. UF_3 წყალში უხსნადია, განზავებულ მკავებში ნელა იხსნება, კარგად იხსნება ცხელ აზოტმკავეაში.

ურან-სამქლორიდი UCl_3 მიიღება UCl_4 -ის წყალბადით აღდგენის გზით 590° -ზე და ურან-პიდრიდზე ქლორწყალბადის ქმედებით $250-300^\circ$ -ზე. UCl_3 -ის ლლობის ტემპერატურა უდრის 842° . მიღებულია აგრეთვე UBr_3 და UJ_3 . ზემოაღნიშნულ ნაერთებს გარდა ცნობილია რიგი პოლიურანატები. ჩვეულებრივად პოლიურანატები წარმოიქმნება ურანილ-მარილების წყალხსნარზე ტუტის ქმედებით. პოლიურანატები ხშირად ცვალებადი შემადგენლობის არიან ან წარმოადგენენ პოლიურანატების ნარეუს. მაგალითად:

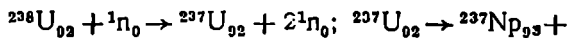


მიღებულია აგრეთვე ძნელაღლლობადი ურან-კარბიდები: UC ; U_2C_3 ; UC_2 . მათ ლებულობენ ურანის ფხვნილისა და ნახშირის შეცნობით მაღალ ტემპერატურაზე. UC ლლობის ტემპერატურა უდრის 2500 UC_2 კი 2445° , U_2C_3 კი იშლება 1800° -ზე. ურან-კარბიდები არამდგრადნი არიან, ადვილად იჟანგებიან, ოთახის ტემპერატურაზე აღდებიან, წყლის ორთქლთან და ცხელ წყალთან წარმოქმნიან ნახშირწყალბადებს. მონოკარბადი კი თერმული და რადიაციული მოქმედების მიმართ ძალიან მდგრადია, რის გამოც გამოიყენება მძლავრ რეაქტორებში ატომბირთვულ საწვავად.

საყურადღებოა აგრეთვე ურანის ორმაგი და სამმაგი შენადნობები და ინტერმეტალური ნაერთები (ლითონების ნაერთები ლითონებთან), ზოგი ზათვანი უკვე გამოყენებულა ან რეკომენდებულია ატომბირთვულ საწვავად. ასეთებია: $U-Be$; $U-Mg$; $U-Al$; $U-Mn$; $U-Ni$; $U-Nb$; $U-Th$; $U-Pu$; $U-Zr-Nb$; $U-Zr-Th$ და სხვ. ურანი აგრეთვე წარმოქმნის ბორიდებს, სილიციდებს, ფოსფიდებს და ა. შ.

მეორე მსოფლიო ომამდე ურანს და მის ნაერთებს ძირითადად იყენებდნენ რადიუმის მისაღებად, ლითონურ ურანს კი სპეციალური ფოლადის მისაღებად. ურანის მარილები მინისა და ჭიჭურების შესაღებად (მწვანე-ყვითელ ფერად) და როგორც კატალიზატორები სავა მიზნებისათვისაც გამოიყენებოდა. ამჟამად ურანი ფართოდ იხმარება როგორც მშვიდობიანი, ისე სამხედრო მიზნებისათვის, როგორც ატომბირთვული საწვავი ზეუდიდესი ენერჯის მისაღებად, ურანის იზოტოპები კი ტრანსურანიდების მისაღებად, ხოლო ჟანგეულები—სტანდარტებად, გამა და ბეტა-გამოსხივების აღრიცხვისათვის (აქტივობის გაზომვისას).

ნეპტუნიუმი 1940 წელს აღმოაჩინეს ე. მაკმილანმა და პ. აბელსონიმ ატომბირთვულ რეაქტორში ურანის ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად მიღებული პროდუქტების შესწავლის დროს. ბუნებაში ნეპტუნიუმი ურანის თანამზავარია. ის ურანის რაოდენობის — 1,8. 10⁻¹⁰% შეადგენს და წარმოიქმნება შემდეგი ატომბირთვული რეაქციით:

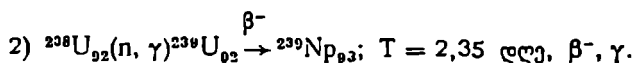
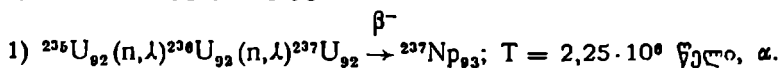


β^-
 + β ანუ $^{238}\text{U}_{92}(\text{n}, 2\text{n})^{237}\text{U}_{92} \rightarrow ^{237}\text{Np}_{93}$; T = 2,2 · 10⁶ წელი, α .

ამ რეაქციისათვის გამოყენებული ნეიტრონი წარმოიქმნება ურანის ატომბირთვის სპონტანური (თავისთავადი) განლეჩვის საფუძველზე. მაგრამ ბუნებაში ასეთი პროცესის მიმდინარეობა გასაგები გახდა მხოლოდ ნეპტუნიუმის ხელოვნურად მიღების შემდეგ.

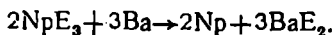
ატომბირთვულ რეაქტორში ნეპტუნიუმი მიიღება აგრეთვე შემტუნიუმი განუწყვეტლივ წარმოიქმნება, რომლიდანაც ის გამოიყო წონითი რაოდენობით.

ატომბირთვულ რეაქტორში ნეპტუნიუმი მიიღება აგრეთვე შემდეგი ატომბირთვული რეაქციით:



როგორც ურანი, ისე ნეპტუნიუმიც პერიოდული სისტემის VI ჯგუფის ელემენტებია.

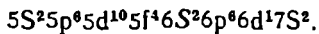
ლითონური ნეპტუნიუმი მიიღება აგრეთვე NpF₃-ის ბარიუმის ორთქლში 1200—1300°-ზე ვაკუუმში გახურებით, შემდეგი სქემის მიხედვით:



ლითონური ნეპტუნიუმი ვერცხლისებრ ბრჭყვალა ფერისაა. მისი ლღობის ტემპერატურა უდრის—640°, კუთრი წონა 19,5 გ/სმ³.

ლითონური ნეპტუნიუმი კრისტალდება სამი ალოტროპული მოდიფიკაციის მოცემით: α —, β და γ -ნეპტუნიუმი. α -ნეპტუნიუმი იძლევა რომბულ კრისტალურ გისოს, მდგრადია 270°-მდე და 278°-ზე გარდაიქმნება β -ნეპტუნიუმად. β -ნეპტუნიუმი იძლევა ტეტრაგონალურ კრისტალურ გისოს. 550°-ზე ზევით გარდაიქმნება γ -ნეპტუნიუმად, რომელიც სხეულდაცენტრებული კუბიკური გისოსის სახით კრისტალდება.

ნებტუნიუმისათვის მოცემულია შემდეგი ელექტრული სტრუქტურა. ნებტუნიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შევსებულია. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება უნდა იყოს შემდეგი:



არ არის გამორიცხული $5S_2 5p^6 5d^{10} 5f^6 6S^2 6p^6 7S^2$ ელექტრული გარსის სტრუქტურაც. უეჭველია, რომ სამი ან ოთხი 5f ელექტრონი სუსტად არის დაკავშირებული ნებტუნიუმის ატომბირთვთან, რითაც უნდა აიხსნას ნებტუნიუმის ექვსი, ხუთი, ოთხი და სამი ვალენტოვნობის ზოცების უნარი ურანის მსგავსად.

ურანის მსგავსად ნებტუნიუმი ხუთ და ექვსვალენტოვან მდგომარეობისას იძლევა ნებტუნილ-იონებს NpO_2^{2+} და NpO_2^+ , გარდა $NpXn_1$ ტიპის ჰალოგენიდებისა. ურანისაგან განსხვავებით, ნებტუნიუმის ხუთვალენტოვანი მდგომარეობა ყველაზე მდგრადია, რაც დასტურდება იმით, რომ ექვსვალენტოვანი ნებტუნიუმის ხუთვალენტოვანად გადაყვანისათვის საჭიროა ნაკლებად ენერგიული აღმდგენელი (SO_2^- , I^-), ვიდრე ექვსვალენტოვანი ურანის ხუთვალენტოვანში გადასაყვანად, და უფრო ძლიერი დამჟანგველებია (Cl_2 , Cl^{4+}) საჭირო შქვეული რეაქციისათვის (რეაქციის შებრუნებისათვის).

ნებტუნიუმის ქანგეულები. ცნობილია ნებტუნიუმის შემდეგი ქანგეულები:

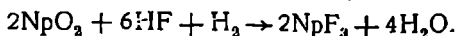
NpO —ერთქანგი, NpO_2 —ორქანგი და Np_2O_3 —ქანგ-ქვექანგი. NpO —ერთქანგი იძლევა $NaCl$ -ის ტიპის კრისტალგისოს, რომლის კუთრი წონა უდრის 13,34 გ/სმ³.

NpO_2 —ნებტუნიუმის ორქანგი მიიღება ოთხვალენტოვანი ნებტუნიუმის მარილების ან ჰიდროქანგის ჰაერში 700—800° გავარკვავებით. NpO_2 -ის კუთრი წონა უდრის 11,11 გ/სმ³, უხსნადია განზავებულ მჟავებში, იხსნება მხოლოდ კონცენტრულ გოგირდმჟავაში და 3—10 ნორმალობის გოგირდმჟავისა და 0,1 ნორმალობის კალიუმბრომატის $KBrO_3$ ნარევიში.

ქანგ-ქვექანგი Np_2O_3 მიიღება ნებტუნიუმის ჰიდროქანგისა და ამონიუმ-დინებტუნატის აზოტის ორქანგში 300°-მდე გახურებით.

სამვალენტოვანი ნებტუნიუმის ნაერთები. ურანის მსგავსად, ნებტუნიუმი 50° ტემპერატურის დროს წყალბადთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ნებტუნიუმ-ჰიდრიდს NpH_3 .

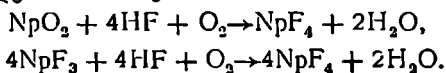
ნებტუნიუმ-სამფტორიდი NpF_3 მიიღება H_2 -სა და HF -ის ნარევიში ნებტუნიუმ-ორქანგის 500°-ზე გახურებით:



ნეპტუნიუმ-სამქლორიდი $NpCl_3$ მიიღება $NpCl_4$ -ის ამიაკით აღდგენის გზით 1000° -ზე, $NpCl_3$ -ის ლლობის ტემპერატურა უდრის 800° , დუ-ლილისა კი — 1525° . ანალოგიურად შეიძლება მიღებულ იქნას სამ-ვალენტოვანი ნეპტუნიუმის სხვა ჰალოგენ ნაერთებიც: $NpBr_3$ და NpI_3 . ნეპტუნიუმის სამვალენტოვანი მარილების ხსნარები ვარდის-ფერ შეფერვას იძლევიან.

ოთხვალენტოვანი ნეპტუნიუმის ნაერთები. ნეპტუნიუმის ჰიდროქსანი $Np(OH)_4 \cdot nH_2O$ მიიღება ოთხვალენტოვანი ნეპტუნიუმის მარილების ხსნარიდან ამიაკით გამოლექვის გზით, მო-მწვანო-მონაცრისფრო ლაზოვანი მასის სახით. ის ადვილად იხსნება მკავეებში ნეპტუნიუმის მარილების წარმოქმნით.

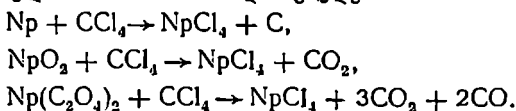
ნეპტუნიუმ-ტეტრაფტორიდი NpF_4 მიიღება ნეპტუნიუმ-ორქანგზე ან ნეპტუნიუმ-სამფტორიდზე ფტორწყალბადმკავისა და ქანგბადის ნა-რევის ქმედებით 500° -ზე.



ნეპტუნიუმ-ტეტრაფტორიდი ძნელად ხსნადია, მისი კუთრი წონაა $6,84$ გ/სმ³.

ოთხვალენტოვანი ნეპტუნიუმის ხსნარზე 10%-იან KF ხსნარის ქმედებისას $KNpF_6$ გამოილექება. ცნობილია აგრეთვე ნეპტუნიუმის შემ-დეგი კომპლექსნაერთებიც: K_2NpF_6 ; KNp_2F_{10} , NH_4NpF_6 .

ნეპტუნიუმ-ტეტრაქლორიდი $NpCl_4$ მიიღება ლითონურ ნეპტუნი-უმზე ან ნეპტუნიუმ-ორქანგზე 475° -ზე ან კიდევ ნეპტუნიუმ-ოქსალა-ტზე 500° -ზე ოთხქლორიანი ნახშირბადის ქმედებით:



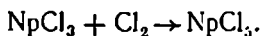
ნეპტუნიუმ-ტეტრაქლორიდი წითელ-მოყავისფრო მარილია, მისი კუთ-რი წონაა $4,92$ გ/სმ³, ლლობის ტემპერატურა კი 538° .

ხუთვალენტოვანი ნეპტუნიუმის ნაერთები. ნეპტუნიუმ-პენტაფტორიდი NpF_5 მიიღება ნეპტუნიუმ-ტეტრაფტორი-დისა და ნეპტუნიუმ-ჰექსაფტორიდის $325-375^\circ$ ტემპერატურაზე ურთიერთქმედების დროს:



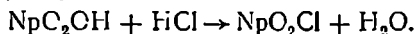
ნეპტუნიუმ-პენტაფტორიდის დუდილის ტემპერატურაა 725° .

ნეპტუნიუმ-პენტაქლორიდი მიიღება ნეპტუნიუმ-სამქლორიდის 326° -ზე ქლორით დაქანგვის გზით:

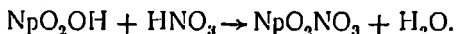


ნეპტუნიუმ-პენტაქლორიდის კუთრი წონაა 5,58 გ/სმ³. ხუთვალენტოვანი ნეპტუნიუმის მარილები მიიღება აგრეთვე ექვსვალენტოვანი ნეპტუნიუმის მარილების ჰიდრაზინით, იოდით, სულფიტით ან ორვალენტოვანი კალით აღდგენის გზით.

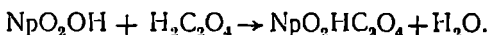
დადგენილია ხსნარში იონი NpO_2^+ არსებობა, რომელიც ძლიერ ტუტე არეში იძლევა ნეპტუნიუმ-ჰიდროქანგს— NpO_2OH ნალექის სახით. ნეპტუნიუმ-ჰიდროქანგის მარილმეკავაში გახსნით მიიღება ნეპტუნიოქლორიდი NpO_2Cl :



ნეპტუნიუმ-ჰიდროქანგის აზოტმეკავაში გახსნისას წარმოიქმნება ნეპტუნილ-ნიტრატი NpO_2NO_3 :



ხუთვალენტოვანი ნეპტუნიუმის მარილების ხსნარი შეფერილია ცისფრად. ნეპტუნიუმის მჟავე ოქსალიტი $\text{NpO}_2\text{HC}_2\text{O}_4$ მიიღება ხუთვალენტოვანი ნეპტუნიუმის ჰიდროქანგის მჟაუნმეკავას ხსნარში დამუშავებით:

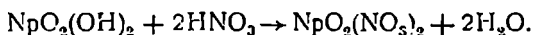


ურანის მსგავსად ხუთი და ექვსვალენტოვანი ნეპტუნიუმი ხსნარში ყოველთვის წარმოქმნის ნეპტუნილ-იონებს NpO_2^+ და NpO_2^{2+} .

ექვსვალენტოვანი ნეპტუნიუმის ნაერთები ძალიან გვანან ექვსვალენტოვან ურანის მარილებს.

ნეპტუნიუმ-ჰექსაფლორიდი NpF_6 მიიღება NpF_3 -ზე ფტორის ქმედებით. წითლად გავარვარების ტემპერატურაზე ადვილად აქროლადია; ქროლდება 57°-ზე, დუღილის ტემპერატურა უდრის 55,2°.

ნეპტუნილნიტრატი $\text{NpO}_2(\text{NO}_3)_2$ მიიღება ნეპტუნატის ჰიდროქანგის გახსნით აზოტმეკავაში:



ნატრიუმ-ნეპტუნილსამაყეციტი $\text{NaNpO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_3$ მიიღება ვარდისფერი კრისტალების სახით ექვსვალენტოვანი ნეპტუნიუმის ხსნარისა და კონცენტრული CH_3COONa ხსნარის ურთიერთმოქმედებით.

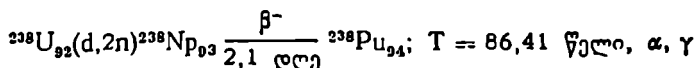
ექვსვალენტიანი ნეპტუნიუმის მარილის ხსნარისა და ტუტეების ურთიერთქმედებით მიიღება ძნელად ხსნადი დინეპტუნატი $\text{Na}_2\text{Np}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

ცნობილია ნეპტუნიუმის მარილები ჟანგბადოვან მჟავებთან, მაგალითად: სულფატი $\text{Np}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, პერქლორატი $\text{Np}(\text{ClO}_4)_4$, ნიტრატი $\text{Np}(\text{NO}_3)_4$ და სხვა:

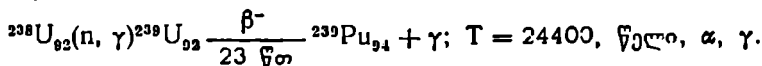
მიღებულია აგრეთვე ნეპტუნიუმ-კარბიდები: NpC და NpC_2 . ნეპტუნიუმის იზოტოპებიდან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა $^{237}\text{Np}_{94}$, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი $T = 2,2 \cdot 10^6$ წელს.

პ ლ უ ტ ო ნ ი უ მ ი (Pu), $Z=94$

პლუტონიუმის პირველი იზოტოპი 238 მასის რიცხვით 1940 წელს მიიღეს გ. სიბორგიმ, დე. კენედიმ, ა. ვალემ, ე. მაკმილანმა და ე. სერგემ დეიტრონებით ურანის ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციით:



1941 წელს პლუტონიუმ-239 გამოყოფილ იქნა გ. სიბორგისა და მისი თანამშრომლების მიერ, როგორც ნეპტუნიუმ-239 დაშლის პროდუქტი, რომელიც მიიღება ატომბირთვულ რეაქტორში ურანის ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:

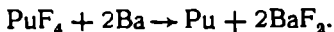


პლუტონიუმ-239 ატომბირთვულ რეაქტორში მიიღება კილოგრამობით, გამოიყენება როგორც ატომბირთვული საწვავი.

ამჟამად პლუტონიუმის 15 იზოტოპია ცნობილი 232—246 მასის რიცხვით და ერთი იზომერი 237 მასის რიცხვით. ამასთან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა პლუტონიუმ-244, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი $T=8 \cdot 10^7$ წელს, α -და β -გამომსხივებელია. ბუნებაში პლუტონიუმი, ისე როგორც ნეპტუნიუმი, აღმოჩენილ იქნა მხოლოდ მას შემდეგ, რაც ის ხელოვნურად მიიღეს ურანიდან.

პლუტონიუმი გვხვდება ურანისა და თორიუმის მადნებში ურანის რაოდენობის $\sim 10^{-10}\%$ -ის რაოდენობით.

ლითონური პლუტონიუმი მიიღება აგრეთვე PuF_3 , PuF_4 -ის ან PuO_2 -ის ბარიუმის, კალციუმის ან ლითიუმის ორთქლში 1200° -ზე გახურებით:



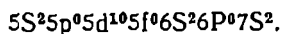
ის მიიღება აგრეთვე PuF_3 -ის კალციუმის სილიციდით აღდგენის ხერხით 1550° -ზე და პლუტონიუმის ჰალოგენების თერმული დაშლით ვაკუუმში.

პლუტონიუმი ბზინვარე თეთრი ფერის ლითონია, არსებობს ექვსი ალოტროპიული მოდიფიკაციის სახით, კუთრი წონით 19,8-დან

13,5 გ/სმ³-მდე. მისი ლღობის ტემპერატურა უდრის 637°. ლითონური პლუტონიუმი მშრალ ჰაერში ნელა იჟანგება, ტენიანში კი სწრაფად. პლუტონიუმი ქიმიური თვისებებით ურანისა და ნეპტუნიუმის მსგავსია და ამიტომ ისიც პერიოდული სისტემის VI ჯგუფშია მოთავსებული.

პლუტონიუმისათვის მოცემულია შემდეგი ელექტრული სტრუქტურა.

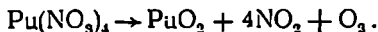
პლუტონიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შეესებულება მისი გარეგარსის ელექტრონების განლაგება უნდა იყოს შემდეგი:



უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი 5f ელექტრონი სუსტად არის დაკავშირებული პლუტონიუმის ატომბირთვთან და ისინი ადვილად შეიძლება იქნენ ამოგლეჯილი, რის გამოც პლუტონიუმი იჩენს ექვსვალენტობას როგორც ხსნარებში, ისე მყარ და აირად მდგომარეობაში.

პლუტონიუმი, როგორც ხსნარებში, ისე უმრავლეს მყარ ნაერთებში, არსებობს პლუტონიუმ-იონების PuO_2^+ და PuO_2^{2+} სახით. ურანი და ნეპტუნიუმისაგან განსხვავებით, ხსნარში პლუტონიუმისათვის ოთხვალენტიანი მდგომარეობა ყველაზე მდგრადია. ეს იმით უნდა აიხსნას, რომ ზუთი და ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმ-239 თავისივე α გამოსხივებით ნელ-ნელა აღდგენას განიცდის. საერთოდ კი, პლუტონიუმის ვალენტოვნობა იცვლება 2-დან 6-მდე.

პლუტონიუმის ქანგეულები. ცნობილია პლუტონიუმის შემდეგი ქანგეულები: PuO —ერთჯანგი, Pu_2O_3 —უანგი, PuO_2 —ორჯანგი და Pu_3O_8 . PuO მიიღება PuF_3 -ის ან PuF_4 -ის ლანთანის ან ბარიუმის ორთქლით აღდგენის ხერხით 1250°-ზე ან $PuOCl$ -ის აღდგენით. PuO -ს კუთრი წონაა 13.89 გ/სმ³. Pu_2O_3 მიიღება პლუტონიუმის ორჯანგის წყალბადით აღდგენის ხერხით. ან მისი დაშლით ტანტალის ზედაპირზე ვაკუუმში. PuO_2 მიიღება პლუტონიუმის მარილების გავარვარებით (250—1000°-ზე):

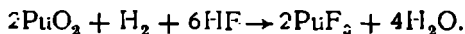


თუ PuO_2 მიღებულია 600°-მდე გახურებით, ის იხსნება კონცენტრულ გოგირდმჟავასა და აზოტმჟავაში შესაბამისი ოთხვალენტოვანი მარილების მოცემით. თუ იგი მიღებულია 600°-ზე მაღალ ტემპერატურაზე გახურებით, მაშინ ხსნად მდგომარეობაში მისი გადაყვანა შეიძლება $KHSO_4$ -თან შელღობით. PuO_2 -ის კუთრი წონა უდრის 11,44 გ/სმ³.

Pu_3O_8 მიიღება პლუტონიუმის ორჯანგის ლითონური ბარიუმით აღდგენის გზით.

PuO_2 -ის მაღალ ვაკუუმში 1800°-ზე გავარვარებისას მიიღება მუქვერცხლისფერი მყარი ხსნარი Pu_2O_3 — Pu_4O_7 .

სამვალენტოვანი პლუტონიუმის ნაერთები. პლუტონიუმის ჰიდრიდი PuH_3 მიიღება პლუტონიუმისა და წყალბადის ურთიერთქმედებისას $150-200^\circ\text{C}$ -ზე. წყალბადის სიმციროს დროს კი წარმოიქმნება PuH_2 . განზავებულ მჟავებში უხსნადი, კაშკაშა წითელი ფერის პლუტონიუმ-სამფტორიდი PuF_3 მიიღება შემდეგი რეაქციით:



როგორც ამ რეაქციით, ისე ლათონური პლუტონიუმის სხვა ჰალოგენებთან პირდაპირი მოქმედებით წიიღება: PuCl_3 , PuBr_3 და PuI_3 .

სამვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილები უფრო მდგრადია, ვიდრე ურანის შესაბამისი მარილები. ისინი შეიძლება მიღებულ იქნენ ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილების აღდგენით, ისეთი აღმდგენლებით, როგორცაა: SO_2 , მარილმჟავა ჰიდროქსილაამინი $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$, კალიუმ-ფეროციანიდი („სისხლის ყვითელი მარილი“) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, იოდონი I^- და სხვ.

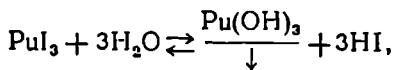
ლანთანიდების მჟაუნნეჟავა მარილების ქმედებით სამვალენტოვანი პლუტონიუმიდან გამოილეჟება ძნელად ხსნადი ჰიდრატი $\text{Pu}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.

პლუტონიუმის ოქსალატი $\text{Pu}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ გამოილეჟება აგრეთვე სამვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილების ხსნარზე ნატრიუმის ოქსალატის ქმედებით, $\text{Pu}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ჰიდრატის სახით.

უწყლო პლუტონიუმის ოქსალატი მიიღება ვაკუუმში 225°C -ზე გახურებით.

პლუტონიუმის სულფატი $\text{Pu}_2(\text{SO}_4)_3$ წარმოქმნის ორზავ $\text{K}_3\text{Pu}(\text{SO}_4)_4$, $\text{K}_3\text{Pu}(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ და $\text{MPu}(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ტიპის მარილებს, სადაც, აუ M არის K , მაშინ $n=5$, თუ M არის Ti , Na , Cs , Rb ან NH_4 , მაშინ $n=4$.

სამვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილები $\text{PH} > 7$ პირობებში ადვილად ჰიდროლიზდებიან უხსნადი ჰიდროჟანგის წარმოქმნით:



რომელიც თვითნებურად იჟანგება $\text{Pu}(\text{OH})_4$ -მდე.

ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის ნაერთები. ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილები მიიღება ჰიდროჟანგის $\text{Pu}(\text{OH})$ ან ორჟანგის PuO_2 -ის გახსნით შესაბამის მჟავეებში.

პლუტონიუმის ჰიდროჟანგი $\text{Pu}(\text{OH})_3$ გამოილეჟება ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილის ხსნარზე ტუტის ქმედებით. პლუტონიუმის ნიტრატზე $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ -ზე ტუტის ქმედებით გამოილეჟება შემდეგი შემადგენ-

ლობის ნალექი $\text{Pu}(\text{CH}_3)_4 \cdot 3,85(\text{NO}_3)_2 \cdot 0,1\text{F}$. ნაერთის გამოხდელი წყლით გარეცხვის შემდეგ მიიღება სუფთა $\text{Pu}(\text{OH})_4$.

$\text{Pu}(\text{OH})_4$ აღვილად იხსნება განზავებული აზოტის, გოგირდისა და და მარილმჟავაში ხსნადი მარილების წარმოქმნით; PuCl_4 მოწითალო ფერის მარილია.

პლუტონიუმის ნიტრატი $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ გამოკრისტალდება ჰიდრატების $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ და $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ სახით. პირველი ღია ვარდისფერისაა, მეორე კი მომწვანო ფერის. ტუტე ლითონების თანდასწრებისას კი გამოილექება $\text{M}_2\text{Pu}(\text{NO}_3)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ტიპის მარილი.

პლუტონიუმის სულფატი $\text{Pu}(\text{SO}_4)_2$ გამოკრისტალდება $\text{Pu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ სახით. იგი ღია ვარდისფერისაა. პლუტონიუმის სულფატი წარმოქმნის ორმაგ მარილებს $\text{N}_4\text{Pu}(\text{SO}_4)_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, სადაც $n = 1$ ან 2 , ხოლო $\text{M} = \text{NH}_4$, K ან Rb .

პლუტონიუმის იოდატი $\text{Pu}(\text{IO}_3)_4$ გამოილექება ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის ხსნარზე იოდატების ქმედებით.

პლუტონიუმის ტეტრაფტორიდი გამოილექება ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის ხსნარზე ფტორწყალბადმჟავას ქმედებით ჰიდრატების $\text{PuF}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{PuF}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ და $\text{PuF}_4 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ სახით. თუ გამოლექვა მიმდინარეობს ტუტე ლითონების შემცველი ხსნარებიდან, მიიღება MPuF_5 , M_2PuF_6 და MPu_2F_9 (სადაც $\text{M} = \text{Na}$, K , NH_4). PuF_4 -სათვის კარგ სარჩულად ითვლება LaF_3 .

პლუტონიუმის ოქსალატი $\text{Pu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ მიიღება ურანის ოქსალატის ანალოგიურად, ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილის ხსნარზე მჟავნმჟავას ქმედებით. იგი გამოილექება ჰექსაჰიდრატის $\text{Pu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ სახით. ესეც, ურანის ოქსალატის მსგავსად, პრაქტიკულად უხსნადი მარილია.

ხუთვალენტოვანი პლუტონიუმის ნაერთები. კალიბლუტონოილკარბონატი KPuO_2CO_3 და ამონიპლუტონოილკარბონატი $\text{NH}_4\text{Pu}_2\text{CO}_3$ გამოილექებიან პლუტონიუმის ხუთვალენტოვანი მარილის ხსნარზე ტუტე კარბონატების ქმედებით. მარილმჟავა არეში ხუთვალენტოვანი პლუტონიუმი ოთხვალენტოვანი პლუტონიუმთან თანაარსებობს დისპროპორციონირების (თანაშეთარდების) პროცესის შედეგად: $2\text{Pu}(\text{V}) \rightleftharpoons \text{Pu}(\text{IV}) + \text{Pu}(\text{VI})$; მაგრამ ძლიერ მჟავებში ხუთვალენტოვანი პლუტონიუმი პრაქტიკულად არ შეიძლება არსებობდეს.

ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმის ნაერთები. წყალზე პლუტონიუმის ალფა-გამოსხივების ქმედების შედეგად გამოწვეული ჟანგვა-აღდგენითი პროცესის გამო ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმი ხსნარებში არსებობს ხუთვალენტიან პლუტონიუმთან ერთად.

პლუტონიუმების ვალენტოვნობის წონას სწორული თანაფარდობა კი დამოკიდებულია ტემპერატურასა და ხსნარის PH-ზე.

მეავე და ნეიტრალურ არეში ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმი იძლევა ურანის (UO_2^{2+} -ის) მსგავს კათიონ-პლუტონილს Pu_2^{4+} . ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილები ექვსვალენტოვანი ურანის შესაბამისი ნაერთების იზომორფულია.

პლუტონიუმ-ჰექსაფტორიდი PuF_6 მიიღება ნიკელის ჰურკელში PuF_3 , PuF_4 ან PuO_2 -ის ფტორით დაქანგვის ხერხით, $370-720^\circ$ -ზე. პლუტონიუმის ჰექსაფტორიდის ლობის ტემპერატურა უდრის 54° , დუდილის ტემპერატურა კი $62,2^\circ$.

მყარ მდგომარეობისას PuF_6 იზლება თავისივე α -გამოსხივების ზემოქმედებით, 24 საათში, $\sim 1,5\%$ -ის სისწრაფით.

პლუტონილიოდაჟი $PuO_2 \cdot (IO_3)_2 \cdot 6KIO_3$ გამოილეკება ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილის ხსნარზე კალიუმოდატის ქმედებით. კალიპლუტონილსამკარბონატი $K_4 [PuO_2 (CO_3)_3]$ გამოილეკება პლუტონიუმის ექვსვალენტოვნობამდე ამონიუმ-პერსულფატით კარბონატის არეში დაქანგვის დროს. ორმაგი მარილი ნატრიპლუტონილსამაცეტატი $Na [PuO_2 (CH_3 COO)_3]$ წარმოიქმნება პლუტონიუმის ექვსვალენტიანი მარილის ხსნარზე ნატრიუმაცეტატის ქმედების დროს. ნატრიპლუტონილსამაცეტატის ხსნადობა წყალში უდრის 19,5 გ/ლ.

ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილის ხსნარისა და ტუტეების ან ამიაკის ურთიერთქმედებისას ნელა გამოილეკება დიპლუტინატები: $Na_2Pu_2O_7$ და $(NH_4)_2Pu_2O_7$.

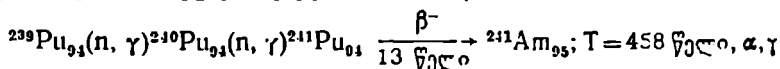
ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმის მარილის ხსნარზე ბარიუმის პიდროქანგის ქმედებისას გამოილეკება $BaPu_3O_8$. ეს რეაქცია გამოიყენება პლუტონიუმის რადიონობრივი განსაზღვრისათვის, რადგან $BaPu_3O_8$ ძნელად ხსნადია.

ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმი, ურანის ანალოგიურად, წარმოქმნის მთელ რიგ ხსნად კომპლექს მარილებს. მაგალითად, მეაუნმეავა ამონიუმის ან ნახშირმეავა ამონიუმის ჰარბად ქმედებით პლუტონიუმის უხსნადი მარილები იხსნება $[PuO_2 (CO_3)_3]^{4-}$ ტიპის კომპლექსიონებას წარმოქმნით. პლუტონიუმის ხსნადი მარილებია: $PuO_2 SO_4$, $PuO_2 Cl_2$, $PuO_2 (NO_3)_2$. უკანასკნელი მარილის ხსნარი ნარინჯისფრად არის შეფერილი.

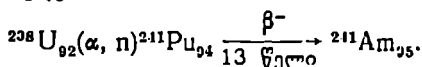
ურანის მსგავსად პლუტონიუმიც იძლევა მთელ რიგ შენადნობებს Be , Al , Mg , Cu , Zn , Si , Zr , Mn , Fe და Ni -თან. პლუტონიუმი გამოიყენება როგორც ატომპირთუელა საწვავი, ზეუდიღესა ენერჯის მისაღებად.

ა მ მ რ ი ც ი უ მ ი (Am) Z=95

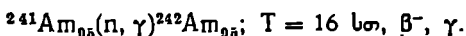
ამერიციუმის იზოტოპი 241 მასის რიცხვით პირველად მიღებულ იქნა 1944 წელს გ. სიბორგის, რ. ჯეიმსისა და ა. გიორსის მიერ სუფთა პლუტონიუმის თბური ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად, რადროსაც პლუტონიუმი თანმიმდევრობით მიიტაცებს ორ ნეიტრონს ამგვარი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:



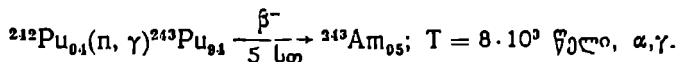
ამერიციუმ-241 მიიღება აგრეთვე შემდეგი ატომბირთვული რეაქციის მიხედვით:



ამერიციუმის მეორე იზოტოპი—ამერიციუმ-242 მიღებულია ამერიციუმ-241-ის ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად:



ამერიციუმ-243 კი მიღებულია ასეთი ატომბირთვული რეაქციის მიხედვით:



სუფთა ლითონური ამერიციუმი მიიღება AmF₃-ის ბარიუმის ორთქლში 1000°-ზე გახურებით ან ამერიციუმის ორჯანგის ლანთანი 1200°-ზე აღდგენის გზით და შემდეგში კი ფრაქციული გამოხდით:



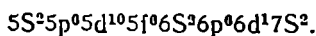
ამჟამად ამერიციუმის 11 იზოტოპია ცნობილია 237—246 მასის რიცხვით და ორი იზომერი 242 და 244 მასის რიცხვით. ამათგან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა ამერიციუმ-243, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 8000 წელს; α-და γ-გამომსხივებელია.

ამერიციუმის ძირითადი იზოტოპები, 241 და 243 მასის რიცხვით, ინტენსიური ალფა-გამომსხივებელი არიან, რაც აძნელებს მათი თვისებების შესწავლას.

ამერიციუმი ვერცხლისფერი, ჭედადი და წვეადი ლითონია. მისი კუთრი წონა უდრის ≈ 12 მგ/სმ³, ლღობის ტემპერატურა 1200°, ლითონური ამერიციუმის ატომის რადიუსი უდრის 1,73Å. იგი ჰაერზე არ იქანგება. ამერიციუმისათვის უფრო დამახასიათებელია და მდგრად-

და სამვალენტოვნობა, თუმცა ორს, ოთხს, ზუთ და ექვს ვალენტოვნობასაც ამჟღავნებს. ის გარდამავალი ელემენტია ურანიდებიდან კიურიდებამდე. უფრო ურანიდებს მიეკუთვნება.

ამერიციუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შევსებულია. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



რიგი აქტონები იძლევიან ამერიციუმის გარე გარსში ელექტრონების შემდეგ განლაგებას: $5S^2 5p^6 5d^{10} 5f^7 6S^2 6p^6 7S^2$.

გამომდინარე აქედან, ცხადია, აერაციუმის ელექტრული სტრუქტურა ანალოგიურია ევროპიუმის ($4S^2 4p^6 4d^{10} 4f^7 5S^2 5p^6 6S^2$)—4f სერიის ელემენტებისა, მაგრამ განსხვავდება ვალენტოვნობის სიმრავლითა და სხვა თვისებებით.

ამერიციუმის ქანგეულები. ცნობილია ამერიციუმის შემდეგი ქანგეულები: AmO ერთქანგი, Am₂O₃-ქანგი და AmO₂-ორქანგი.

AmO მიიღება AmO₂-ის წყალბადით აღდგენით.

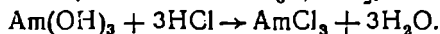
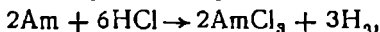
Am₂O₃ მიიღება აგრეთვე AmO₂-ის 600°-ზე წყალბადის აღდგენის გზით: ამერიციუმის ქანგი წითელ-ნაჩივისფერისაა.

AmO₂ მიიღება ამერიციუმის ნიტრატის Am(NO₃)₃ ან ჰიდროქანგის Am(OH)₃-ის თერმული დაშლით. ამერიციუმის ორქანგი შავი ფერისაა. მისი ქანგეულებიდან ის ყველაზე მდგრადია; 1000°-მდე გახურებითაც არ იშლება.

სამვალენტოვანი ამერიციუმის ნაერთები. ამერიციუმის ჰიდრიდი AmH₃ წარმოიქმნება ლითონური ამერიციუმისა და წყალბადის ურთიერთქმედებით 50°-ზე: $2Am + 3H_2 \rightarrow 2AmH_3$.

ამერიციუმ-საფორიდი AmF₃ მიიღება ამერიციუმ-ორქანგისა და ფტორწყალბადქავეას ურთიერთქმედებით 650°-ზე ან ფტორწყალბადისა და ქანგბადის ნარევი Am(OH)₃-ის 600°-ზე გახურებით. ის ძნელად ხსნადია. ძნელად ხსნადია აგრეთვე ამერიციუმის ფოსფატები და ოქსალატები.

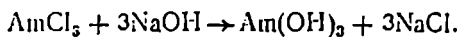
ამერიციუმ-სამქლორიდი მიიღება ლითონური ამერიციუმის ან ჰიდროქანგის მარილმქავეაში მისი გახსნით:



ამერიციუმ-სამქლორიდი კარგად ხსნადია. კარგად ხსნადია აგრეთვე



Am(OH)₃ მიიღება ამერიციუმის სამვალენტოვანი მარილების ხსნარზე ტუტის ქმედებით:



Am(OH)_3 ძნელად ხსნადია.

ამერიციუმის სამვალენტოვანი იონი განზავებულ მყავებს ვარდისფრად შეფერავს. აღნაგობითა და ხსნადობით სამვალენტოვანი ამერიციუმი მზავსებას იჩენს იშვიათ მიწათა ელემენტებთან.

სამფტორიდებს, ფოსფატებს და ლანთანიდებს სარჩულად იყენებენ ამერიციუმის ინდიკატორული რაოდენობისათვის.

ოთხვალენტოვანი ამერიციუმის ნაერთები. ოთხვალენტოვანი ამერიციუმი მყარ მდგომარეობაში მდგრად ნაერთებს წარმოქმნის, ხოლო წყალხსნარებში არამდგრადია—თვითნებურად აღდგება სამვალენტოვანობამდე. მაგრამ ამერიციუმის ჰიდროქსანი Am(OH)_3 და ტეტრაფტორიდი AmF_4 ტუტე ლითონების ფტორიდებში (KF , RbF , NH_4F) ადვილად იხსნებიან მდგრადი ხსნარების წარმოქმნით.

ხუთვალენტოვანი ამერიციუმის ნაერთები. ხუთვალენტოვანი კალიუმამერიციოლკარბონატი KAmO_2CO_3 , რუბიდიუმამერიციოლკარბონატი $\text{KbAmO}_2\text{CO}_3$ წარმოიქმნებიან შესაბამის კარბონატის მაძლარ ხსნარში ჰიპოქლორიტით (მაგ., KClO) 80°C -ზე დაჟანგვის გზით.

კალიუმამერიცინილსამკარბონატი $\text{K}_5[\text{AmO}_2(\text{CO}_3)_3]$ გამოილექება შესაბამისი კარბონატის ხსნარიდან ამერიციუმის ხუთვალენტოვანობამდე დაჟანგვისას; კარბონატის მაძლარ ხსნარში $\text{K}_5[\text{AmO}_2(\text{CO}_3)_3]$ -ის ხსნადობა უდრის 5 მგ/ლ.

კალიუმამერიცილფტორიდი KAmO_2F_2 მიიღება ხუთვალენტოვანი ამერიციუმის ხსნარზე კალციუმ-ფტორიდის მაძლარი ხსნარის დატაცებისას. ხუთვალენტოვანი ამერიციუმის იონის რადიუმი უდრის 1,478. ხსნარში ხუთვალენტოვანი ამერიციუმის მარილები ნელა აღდგებიან ჯერ ოთხვალენტოვანობამდე, შემდეგ კი სამვალენტოვანობამდე. ძლიერ მყავებში შესამჩნევად მიმდინარეობს დისპროპორციონი-



რების პროცესი: ხუთვალენტოვანი ამერიციუმისათვის კარგ სარჩულად ითვლება ტანტალიუმის ქანგი.

ექვსვალენტოვანი ამერიციუმის ნაერთები. ხსნარში ექვსვალენტოვანი ამერიციუმი შეიძლება მიღებულ იქნეს სამვალენტოვანი ამერიციუმის ნაერთის პერსულფატ-იონით ან ხუთვა-

ლენტოვანი ამერიციუმის ნაერთის ოზონით დაქანგვის გზით, ან კიდევ, აზოტისა და ქლორმჟავას ხსნარში ანოდური დაქანგვის გზით.

ნატრიუმამერიცინილაცეტატი $\text{NaAmO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_3$ გამოილექება 0,3 მოლალურ ქლორმჟავას ხსნარიდან ~ 2 მოლალურ კონცენტრაციამდე ნატრიუმ-აცეტატის დამატების დროს.

ექვსვალენტოვანი ამერიციუმის იონის რადიუსი უდრის 1,30 Å. ექვსვალენტოვანი ამერიციუმი მსგავსებას იჩენს ექვსვალენტოვან ურანთან, ნეპტუნიუმთან და პლუტონიუმთან.

ურანი დე ბი და მათი განცალკევება. ურანის, ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის ზემოგანხილული ქიმიური თვისებების შედარებას მივყავართ იმ დასკვნამდე, რომ ისინი თავიანთი ქიმიური თვისებებით ძალიან მსგავსი ელემენტებია. ამიტომ ეს ოთხი ელემენტი მოთავსებულია პერიოდული სისტემის მეექვსე ჯგუფში და ქმნიან ურანიდების ოთხეულს. ერთი და იგივე ვალენტოვნების შემთხვევაში ურანიდები ძალიან მსგავს თვისებებს იჩენენ. გარდა ამისა, სამვალენტოვანი ურანიდების ნაერთები თავიანთი თვისებებით ჰგვანან აქტინიუმს, ხოლო ოთხვალენტოვანი ურანიდების ნაერთები — ოთხვალენტოვან თორიუმს, პროტაქტიუმს, ცირკონიუმსა და ტიტანსაც.

ერთი და იგივე ვალენტოვნობისას ურანიდების იონების რადიუსები თითქმის თანაბარია.

ურანიდების ნაერთები მოლეკულური აღნაგობის ერთი სახოვნეობისა (ერთნაირი ტიპის) და ერთი და იგივე ვალენტოვნობის დროს იზომორფული არიან. ჰიდროქანგები, ფტორიდები, იოდატები, კარბონატები, ფეროციანიდები, ოქსალატები, ფოსფატები სამი და ოთხვალენტოვანი ელემენტებისა (ურანიდებისა) — წყალში ძნელად იხსნებიან.

ექვსვალენტოვანი ურანიდები წყალში ხსნადი $\text{NaMO}_2 \cdot (\text{CH}_3\text{COO})_3$ ($M = \text{U, Np, Pu}$) ტიპის ორმაგ აცეტატებს წარმოქმნიან.

ურანიდების ხუთვალენტოვანი იონები ხსნარში იმყოფებიან UO_2^+ , NpO_2^+ , PuO_2^+ , AmO_2^+ იონების სახით. ურანიდების იონები, სხვადასხვა ხარისხით დაქანგულნი, ადვილად ჰიდროლიზდებიან და წარმოქმნიან მრავალ კომპლექს ნაერთებს და სხვ.

მრავალი მსგავსების მოუხედავად ურანიდები განსხვავებულ თვისებებსაც იჩენენ, რაც განპირობებულია მათი სხვადასხვა ვალენტოვნობის ნაერთთა სხვადასხვა მდგრადობით: ურანიდან ამერიციუმისაკენ იზრდება სამვალენტოვან ნაერთთა მდგრადობა და მცირდება ექვსვალენტოვან ნაერთებისა. მაგალითად, ურანისათვის ექვსვალენტო-

ვანი მდგომარეობა უფრო მდგრადია; ნეპტუნიუმისათვის — ხუთვალენტოვანი, პლუტონიუმისათვის — ყველაზე მდგრადია ოთხვალენტოვანი მდგომარეობა, ხოლო ამერიციუმისათვის სამი. მაშასადამე, ურანიდების ნაერთთა მდგრადობა, სადაც ელემენტი იმყოფება სამვალენტოვანი იონების სახით, იზრდება ურანიდან ამერიციუმისაკენ: $U \rightarrow Np \rightarrow Pu \rightarrow Am$.

ეს კანონზომიერება ურანიდების ყველა მარილისათვის დამახასიათებელია, ატომური ნომრის ზრდასთან ერთად დაბალი ვალენტოვანი მდგომარეობის ძლიერი მდგრადობა განსაკუთრებით დამახასიათებელია ურანიდების ჟანგეულებისა და ჰალოგენიდებისათვის. მაგალითად, ურანისათვის ყველაზე მდგრადია UO_3 , U_3O_8 , UF_6 , ნეპტუნიუმისათვის NpO_2 , NpF_4 , პლუტონიუმისათვის PuO_2 , PuF_4 , ამერიციუმისათვის AmO_2 და AmF_3 . სწორედ ერთი და იგივე ვალენტოვანი ურანიდების ნაერთთა სხვადასხვა მდგრადობა დაედვა საფუძვლად ურანის, ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის ერთმანეთისაგან დაცილებას.

ურანიდების ერთმანეთისაგან დაცილების ერთ-ერთი ვარიანტი დამყარებულია მათი ფტორიდების ციკლზე.

როგორც ცნობილია, ერთ-ერთ ატომბირთვულ საწვავს — პლუტონიუმ-239 ღებულობენ ატომბირთვულ რეაქტორში ნეიტრონებით ურანის ბომბარდირების შედეგად. მიღებული პროდუქტი ჩვეულებრივად შეიცავს ურანს, ნეპტუნიუმს, პლუტონიუმს და ამერიციუმს. მიღებულ პროდუქტს ხსნიან მაგარ აზოტმეყავაში. ამ დროს მიიღება $UO_2(NO_3)_2$, $NpO_2(NO_3)_2$, $PuO_2(NO_3)_2$, $AmO_2(NO_3)_2$. ამის შემდეგ ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის სარჩულად უმატებენ იშვიათ მიწათა ელემენტებს, უფრო ხშირად კი ლანთანის ფტორიდს, LaF_3 -ს. ნეპტუნიუმს, პლუტონიუმსა და ამერიციუმს ოთხვალენტოვანობამდე ალადგენენ გოგირდოვანი აირით (SO_2 -ით), რის შემდეგ მათ ლექავენ NpF_4 , PuF_4 და AmF_4 სახით, ურანილფტორიდს კი ტოვებენ ხსნარში. ურანისაგან ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის მთლიანად მოცილების მიზნით ამ ციკლს, ე. ი. გოგირდოვანი აირით ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის ალდგენისა და ფტორიდების სახით მათი გამოლექვის პროცესს, რამდენჯერმე იმეორებენ.

ნეპტუნიუმისა და პლუტონიუმის ერთმანეთისაგან დაცილება დამყარებულია იმაზე, რომ შეიძლება შერჩეულ იქნეს ისეთი დამყანგველი, რომელიც ოთხვალენტოვან ნეპტუნიუმს ექვსვალენტოვანობამდე დაქანგავს, ხოლო პლუტონიუმი და ამერიციუმი დაუქანგავი დარჩება.

ასეთ დამყანგველს წარმოადგენს კალიუმბრომატი ($KBrO_3$), გოგირდ-მჟავისა და ფტორწყალბადმჟავას თანდასწრებისას. ამ მიზნით ურანი-საგან გამოყოფილი ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის ნალექს ხსნიან გოგირდმჟავაში, ერთდროულად ზემოაღნიშნული დამყანგველით ნეპტუნიუმის დაჟანგვითურთ. შემდეგ უმატებენ HF -ს 6 მოლალური კონცენტრაციის მიღებამდე, რითაც პლუტონიუმი და ამერიციუმი გამოილექებიან ლანთანიდებთან ერთად, ხოლო ნეპტუნიუმი კი დარჩება ხსნარში NpO_2^{2+} იონის სახით. (დამუშავებას პლუტონიუმიანი ფრაქციისას, რომელშიც ამერიციუმიცაა, ცალკე აწარმოებენ). ამის შემდეგ ხსნარში მყოფ ექვსვალენტოვან ნეპტუნიუმს ისევ აღადგენენ გოგირდოვანი აირით და აორთქლებენ სიმშრალემდე. აღდგენილ პროდუქტს გამოხდიან გოგირდმჟავას ორთქლთან ერთად. ნაშთში რჩება ნეპტუნიუმი $Np(SO_4)_2$ -ის სახით, რომელსაც ხელახლა ხსნიან გოგირდმჟავაში და მთელ ციკლს იმეორებენ, სანამ არ მიიღებენ საჭირო სისუფთავის ნეპტუნიუმს.

ამის შემდეგ უბრუნდებიან პლუტონიუმის ფრაქციას. პლუტონიუმისა და ამერიციუმის ნალექს ხსნიან გოგირდის ან აზოტის მჟავაში, ამ დროს ისინი ერთდროულად იჟანგებიან ექვსვალენტოვანობამდე. ექვსვალენტოვანი პლუტონიუმი კი უკვე არ გამოილექება ფტორის იონების ქმედებით, ამერიციუმი და იშვიათ მიწათა ელემენტები კი წინანდებურად ფტორიდების ნალექს წარმოქმნიან.

ამერიციუმიდან იშვიათ მიწათა ელემენტების ფრაქციას ცალკე ამუშავებენ ამერიციუმის გამოყოფის მიზნით. პლუტონიუმიან ხსნარიდან პლუტონიუმის სუფთად გამოყოფას აწარმოებენ ოთხვალენტოვან მდგომარეობაში მისი გადაყვანის შემდეგ, რისთვისაც ხსნარში მყოფ ექვსვალენტოვან პლუტონიუმს ხელახლა აღადგენენ ოთხვალენტოვანობამდე კონცენტრულ გოგირდმჟავაში გახურებით. ამის შემდეგ ოთხვალენტოვან პლუტონიუმს ხსნარიდან გამოლექავენ ჰიდროჟანგის $Pu(HO)_4$ -ის სახით. ამ უკანასკნელს ახურებენ PuO_2 -ის მიღებამდე. ამ გზით ღებულობენ სუფთა პლუტონიუმს უსარჩულოდ.

ზემოაღნიშნულიდან ცხადია, რომ ამერიციუმის მიღების წყაროდ ითვლება პლუტონიუმის წარმოების ნარჩენი ხსნარი, ე. ი. იშვიათ მიწათა ელემენტების საბოლოო ფრაქცია, რომელშიც კონცენტრირებულია ამერიციუმი. ამერიციუმის გამოყოფის ერთ-ერთ ვარიანტს წარმოადგენს იშვიათ მიწათა ელემენტების ფრაქციიდან ლანთანის მარილთან თანდალექვის მეთოდი. ნალექიდან ამერიციუმის გამოყოფის მიზნით ნალექს ხსნიან 0,2 მოლალურ აზოტმჟავაში. შემდეგ კი ამერიციუმს ჟანგავენ ამონიუმ-პერსულფატით $(NH_4)_2S_2O_8$ ოთხვალენტოვანობამდე, იონ Ag^+ -ის თანდასწრებით. ლანთანს გამოლექა-

ვენ ლანთან-ფტორიდის სახით. ხსნარში კი ამერიციუმში დარჩება, რომლის აორთქლებით გამოყოფენ მას.

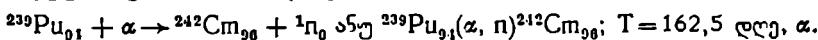
ატომბირთვული „საწვეავის“ წარმოებაში ურანს, ნეპტუნიუმსა და პლუტონიუმს ერთმანეთისაგან აცილებენ ექსტრაქციული მეთოდით.

აქტინიდები. აქტინიუმის მომდევნო ელემენტებს, რომელთა რიგობრივი რიცხვი ძვეს ინტერვალში 89—103-მდე, ათავსებენ ერთ უჯრედში — პერიოდული სისტემის მესამე ჯგუფში. აქტინიუმის მომდევნო თოთხმეტეული ცალკე ოჯახის სახითაა განლაგებული მწკრივში — პერიოდული სისტემის ქვემოთ, რაც, ზემოთ განხილული ელემენტების (ურანიდების) თვისებებიდან გამომდინარე, მოძველებულად უნდა ჩაითვალოს.

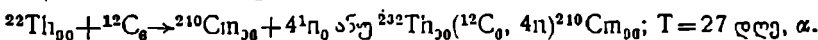
გამომდინარე აქტინიდებზე მიკუთვნილი ელემენტების ქიმიური თვისებებიდან, აქტინიდების მწკრივს შეადგენს ამერიციუმზე უფრო მძიმე ელემენტები — თორიუმი და პროტაქტინიუმი, რომელთა რიგობრივი რიცხვია 89—91 და 96—103-მდე, ე. ი. 10 ელემენტი, რომლებიც ქიმიური თვისებებით მსგავსნი არიან.

კ ი უ რ ი უ მ ი (Gm). Z=96

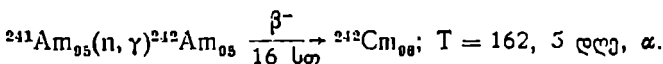
კიურიუმი პირველად 1944 წელს იქნა მიღებული გ. სიბორგის, რ. ჯეიმსისა და ა. გიორსოს მიერ, აჩქარებული ალფა-ნაწილაკებით, პლუტონიუმის ბომბარდირებით:



კიურიუმის იზოტოპი 240 მასის რიცხვით კი მიღებულია ნახშირბადის იონით, თორიუმის ბომბარდირების შედეგად:



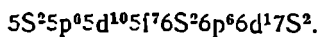
კიურიუმის იზოტოპი მიიღება აგრეთვე თერმობირთვულ რეაქტორში ნეიტრონებით ამერიციუმის ბომბარდირების შედეგად:



ამჟამად კიურიუმის 13 იზოტოპია ცნობილი 238 — 250 მასის რიცხვით და ერთი იზომერი 244 მასის რიცხვით, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 0,036 წმ. კიურიუმის იზოტოპებიდან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა კიურიუმ-247, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 1,6—10⁷ წელს; ალფა-გამომსხივეებელია.

კიურიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შევსებულია.

მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



ელექტრული სტრუქტურიდან გამომდინარე, კიურიუმი სამვალენტოვანი ელემენტია და ხსნარში ის მხოლოდ სამვალენტოვან მდგომარეობაში იმყოფება. მაგრამ მსგავსი ელექტრული სტრუქტურის ($4S^2 4P^6 4d^{10} 4f^7 5S^2 5P^6 5d^1 6S^2$) მქონე გადოლიუმისაგან განსხვავებით ოთხვალენტოვან ნაერთებსაც იძლევა მყარ (კრისტალურ) მდგომარეობაში, როგორცაა CmO_2 და CmF_4 .

მილიგრამობით ლითონური კიურიუმი მიღებულია CmF_3 -ის ბარიუმის ორთქლში 1275° -ზე გახურებით (აღდგენით).

კიურიუმი ვერცხლისებრ ბრჭყვიალა, ჭედადი ლითონია. მისი კუთრი წონა $\cong 7$ გ/სმ³, ლობის ტემპერატურაა 1340° . იონის რადიუსი უდრის $1,74\text{\AA}$. ლითონური კიურიუმი საკუთარი ალფა-გამოსხივებით ადვილად კოროზირებულია, აზოტის ატმოსფეროშიც კი თანდათან მუქდება.

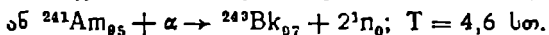
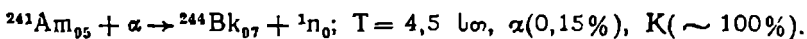
კიურიუმის უანგეულები. თეთრი ფერის ერთნახევარი უანგი — Cm_2O_3 მიიღება კიურიუმის ჰიდროქსიდის $Cm(OH)_4$ -ის გახურებით. ცნობილია აგრეთვე შავი ფერის კიურიუმის ორუანგი CmO_2 . კიურიუმის ერთნახევარი უანგისა და ორუანგის იდენტიფიცირება მიღწეულია კიურიუმის უანგეულების რენტგენოსტრუქტურული შესწავლის საფუძველზე.

კიურიუმის უმნიშვნელოვანესი ნაერთები. კიურიუმის ფტორიდი CmF_3 მიიღება კიურიუმის მარილის ხსნარზე ფტორწყალბადმჟავას ქმედებით. კიურიუმ-ფტორიდის ხსნადობა $\cong 12$ მგ/ლ.

კიურიუმის ჰიდროქანიდი $Cm(OH)_4$ გამოილექება კიურიუმის მარილის ხსნარზე ტუტის ქმედებისას. კიურიუმის ჰიდროქანიდის ხსნადობა $\cong 20$ მგ/ლ. თავისი ქიმიური თვისებებით კიურიუმი ემსგავსება გადოლიუმს.

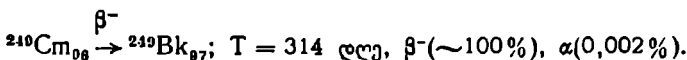
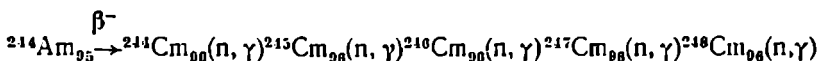
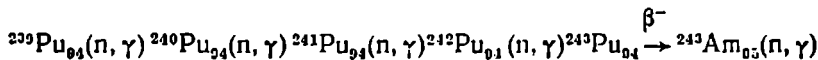
ბ ი რ კ ლ ი უ მ ი (Rk), Z=97

ბერკლიუმის პირველი იზოტოპი 1949 წელს მიიღეს ს. ტომსონმა, ა. გიორსოსმა და გ. სიბორგმა $0,025$ მგ რაოდენობით, ამერიციუმის ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული (α , n) ან (α , 2n) რეაქციების თანახმად:

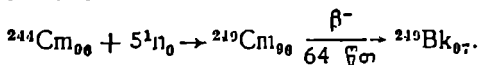


ამრიგად, იზოტოპი ბერკლიუმ-243, 244-ის გარდაქმნა ძირითადად მიმდინარეობს ელექტრონის მიტაცების გზით და ნაწილობრივად ალფა-ნაწილაკების გამოსხივებით (0,15%-ით).

ლითონ-ბერკლიუმში უფრო დიდი რაოდენობით მიიღება პლუტონიუმის მიერ თბური ნეიტრონების თანმიმდევრობით მიტაცების ხერხით, შემდეგი ატომბირთვული რეაქციების თანახმად:



ბერკლიუმის მიღების ეს პროცესი შეიძლება ორ საფეხურად გავყოთ: პირველი საფეხური მთავრდება კიურიუმში—244-ის მიღებით. კიურიუმის ამ ფრაქციას რეაქტორიდან ამოიღებენ, ქიმიურად ასუფთავებენ და ისევ ათავსებენ რეაქტორში და ხელახლა აწარმოებენ ბომბარდირებას ნეიტრონებით, რის შედეგად მიიღება ბერკლიუმი შემდეგი შეჭამებული ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:



ჯერჯერობით ექსპერიმენტულად მიღებული ბერკლიუმ-249-ის რაოდენობა 0,2—0,03 მგ არ აღემატება.

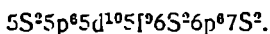
ამჟამად მიღებულია ბერკლიუმის 8 იზოტოპი 234—250 მასის რიცხვით. მათგან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა ბერკლიუმ-247, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 7.10^3 წელს. ეს უკანასკნელი მიღებულია კალიფორნიუმ-247 ($^{247}\text{Cf}_{98}$)-ის მიერ ელექტრონის მიტაცებით (K-მიტაცებით):



ლითონის სახით ბერკლიუმში ჯერჯერობით მიღებული არ არის.

ბერკლიუმ-249 მიკრორაოდენობის მაგნიტური გაზომვის შედეგად მოცემულია შემდეგი ელექტრული სტრუქტურა.

ბერკლიუმის K, L, M და N ელექტრული გარსები შეესებულება. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:



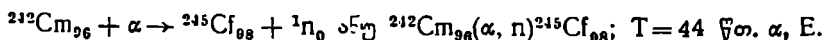
ბერკლიუმში აქტინიდების მწკრივის მეოთხე ელემენტი. ამ მწკრივის სხვა ელემენტებისგან განსხვავებით, ის სამვალენტოვანი მდგომარეობიდან ხსნარებშიაც კი გადადის ოთხვალენტოვან მდგომარეობაში-

დე, ისეთი ძლიერი მყანგველების ქმედებით, როგორცაა Ce^{4+} , $Cr_2O_7^{2-}$, BrO_3^- და სხვ. ბერკლიუმისათვის სამვალენტოვანი მდგომარეობა უფრო მდგრადია, ვიდრე ოთხვალენტოვანი: სამვალენტოვან მდგომარეობაში ბერკლიუმი თავისი ქიმიური თვისებებით ძალიან ახლო დგას კიურიუმთან. თანდალექვის შემთხვევებში სამვალენტოვანი ბერკლიუმის ქცევა ანალოგიურია აქტინიდების სხვა ელემენტების ქცევასა. ბერკლიუმისათვის ტიპურ სარჩულად ითვლება ლანთანის ჰიდროქანი და ფტორიდი.

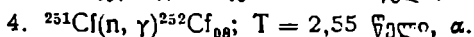
ხოლო ოთხვალენტოვანი ბერკლიუმის დაცილება სხვა იზოტოპებისაგან კარგად მიმდინარეობს ცერიუმის იოდატთან და ცირკონიუმის ფოსფატთან თანდალექვისას.

ბ ა ლ ი ფ ო რ ნ ი უ მ ი (Cf). Z=98

კალიფორნიუმის პირველი იზოტოპი, რამდენიმე მიკროგრამის ოდენობით, 1950 წელს მიიღეს ს. ტომსონმა, კ. სტრიტმა, ა. გიორსმა და გ. სიმორგმა, კიურიუმ-242-ის 35 მე ვ ენერგიამდე აჩქარებული ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად:



ამ ელემენტს კალიფორნიუმი ეწოდა იმ უნივერსიტეტის საპატივცემულოდ, რომელშიც ის პირველად მიიღეს. კალიფორნიუმი მიიღება აგრეთვე აჩქარებული მძიმე იონებით ($^9\text{Be}_4$, $^{12}\text{C}_6$, $^{11}\text{N}_7$) ურანის, პლუტონიუმისა და კიურიუმის ბომბარდირების შედეგად, აგრეთვე თვით კალიფორნიუმის იზოტოპების ნეიტრონებით ბომბარდირების საფუძველზე, შემდეგი ატომბირთვული რეაქციების თანახმად:



ამჟამად კალიფორნიუმის 12 იზოტოპია ცნობილი 242—254 მასის რიცხვით. ამათგან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა კალიფორნიუმ-251, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 800 წელს; ალფა-გამომსხივებელია.

მაგნიტური ამთვისებლობის გაზომვის საფუძველზე მოცემულა შემდეგი ელექტრული სტრუქტურა:

კალიფორნიუმის K, L, M და N გარსები შეესებულება. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:

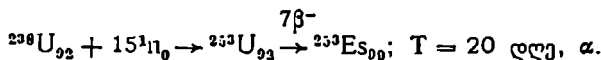
კალიფორნიუმი ქიმიური თვისებებით აქტიურობის მწკრივის სხვა წევრებს ძალიან ემსგავსება. ავიტომ ძნელია მათი ნარევიდან კალიფორნიუმის გამოყოფა. როგორც ცნობილია, აჩქარებული მძიმე იონებით ურანის. პლუტონიუმის ან კიურიუმის ბომბარდირებისას მიღებული კალიფორნიუმი იმყოფება ამერიციუმის, კიურიუმისა და ბერკლიუმის ფრაქციაში, ერთმანეთისაგან მათ დაცილებას აძნელებს კიდევ ის, რომ ამავე ფრაქციაში იმყოფება სამეალენტოვან იშვიათ მიწათა ელემენტებიც. ერთმანეთისაგან მათი დაცილების ერთ-ერთი ვარიანტია ორსაფეხურიანი ქრომატოგრაფიული მეთოდი: პირველ საფეხურზე ლანთანიდების მწკრივის წევრებიდან გამოყოფენ აქტიანიდების მწკრივის წევრებს, მეორე საფეხურზე აწარმოებენ აქტიანიდების ფრაქციულ განცალკევებას. პირველი საფეხურის ჩატარებისათვის იღებენ 7 სმ სიგრძისა და 0,2 მმ დიამეტრის მქონე იონმიმოცვლით მილს, რომელშიც ათავსებენ აქტიანიდების ფრაქციაში მყოფ ელემენტებშთანთქმულ (ადსორბირებულ) კათიონიტს. იონმიმოცვლით მილში მოთავსებულ კათიონიტზე ასხამენ 13 მოლალურ მარილმჟავას, მარილმჟავას ასეთი კონცენტრაციის დროს აქტიანიდები წარმოქმნიან უფრო მდგრად და კარგად ხსნად კომპლექს ნაერთებს, ვიდრე ლანთანიდები. ასეთ პირობებში, ცხადია, აქტიანიდების ხსნადი კომპლექს ნაერთები გამოირეცხებიან კათიონიტიდან, ხოლო ლანთანიდები კი კათიონიტზე რჩება. შემდეგ კი $M(OH)_3$ -ის ტიპის აქტიანიდების ჰიდროქსიანი გადაყავთ $M(ClO_4)_3$ -ის ტიპის პერქლორატში. ამ უკანასკნელის ადსორბირებას ახდენენ სულფოკათიონიტზე. შემდეგ კი აქტიანიდების პერქლორატებს გამოირეცხავენ ამონიუმციტრატის 0,25 მოლალური ხსნარით $PH=3,5$ პირობებში, იონმიმოცვლით მილიდან გამოყოფილ წვეთებს ცალ-ცალკე აგროვებენ. მათი აქტიურობის გაზომვით, ნახევრად დაშლის პერიოდის, ნაწილაკის სახის, ენერჯისა და სხვათა შესწავლით კი ახდენენ ცალკეული ელემენტების იდენტიფიკაციას. რეაქტორებში დაგროვილი კალიფორნიუმ-249-დან პირველად იყო სითუზირებული ქანგი Cf_2O_3 , ტრიქლორიდი $CfCl_3$ და ოქსიქლორიდი $CfOCl$.

ე ი ნ შ ტ ე ი ნ ი უ მ ი Es), Z=99

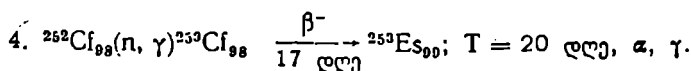
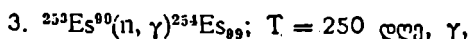
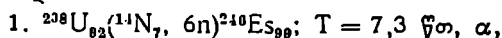
ელემენტ ეინშტეინიუმის იზოტოპი ($^{253}Es_{99}$) გამოყოფილი და იდენტიფიცირებული იქნა 1952 წელს თერმობირთვული ბომბის აფეთქების პროდუქტიდან. ამ ელემენტის გამოყოფაზე მრავალი მეცნიე-

რი მუშაობდა, რომელთა შორის აღსანიშნავია ა. გიორსო, ს. ტომსონი, გ. სიბორგი და სხვ.

ეინშტეინიუმ-253 წარმოიქმნება მრავალჯერადად ინტენსიური ნეიტრონების ნაკადით ურანის ბომბარდირებისა და მიღებული ურან-253 იზოტოპის შეიღჯერადი (7β-) ბეტა-გარდაქმნის შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:

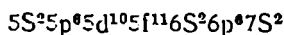


ეინშტეინიუმ 253-ის იზოტოპი და ამ ელემენტის დანარჩენი 11 იზოტოპი მიღებულია უფრო მარტივად, თერმობირთვულ რეაქტორში სათანადო ელემენტების ნეიტრონებით ან აჩქარებული მძიმე იონებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი თერმობირთვული რეაქციების თანახმად:



და ა. შ.

წონითი რაოდენობით ეინშტეინიუმი მიღებული არ არის. ტრანსურანიდებიდან გამოყოფილი იქნა ქრომატოგრაფიული მეთოდით, მხოლოდ იმპულსური რაოდენობით (მოცემულ შემთხვევაში იმპულსური ნიშნავს, რომ გამოყოფილი და შესწავლილია მხოლოდ მისი გამოსხივების მიხედვით). ელემენტი ეინშტეინიუმის ქიმიური თვისებები მსგავსია სამვალენტოვანი აქტინიდების ქიმიური თვისებებისა. მისი ატომებისათვის მოცემულია შემდეგი ელექტრული სტრუქტურა: ეინშტეინიუმის K, L, M და N გარსები შეესებულება. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგია:

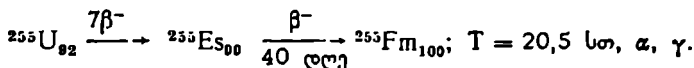


ელექტრული სტრუქტურიდანაც დასტურდება მისი მსგავსება სამვალენტოვან აქტინიდებთან.

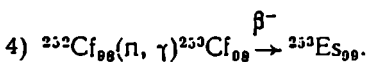
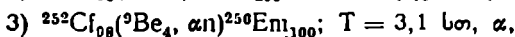
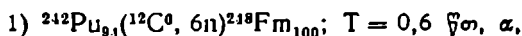
ფ ე რ მ ი უ მ ი (Fm), Z=100

ელემენტი ფერმიუმი გამოყოფილი და იდენტიფიცირებული იქნა 1952 წელს თერმობირთვული ბომბების აფეთქების პროდუქტებიდან ელემენტი ეინშტეინიუმთან ერთად. მას ფერმიუმი ეწოდა ენრიკო

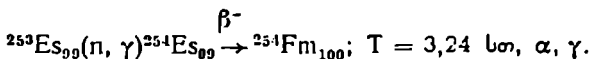
ფერმის პატივსაცემად. თერმობირთვული აფეთქების პროდუქტების გულდასმით შესწავლის საფუძველზე მეცნიერები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ ატომბირთვული ბომბების აფეთქების დროს ურან-255 წარმოიქმნება საგრძნობი რაოდენობით, რომლის შვიდეჯერადი ($7\beta^-$) ბეტა-გარდაქმნის შედეგად მიიღება ეინშტეინიუმ-255, რომელიც თავის მხრივ ბეტა-ნაწილაკების ემისიით, დაახლოებით 40 დღის (^{255}Es -ის $T=40$ დღეს) შემდეგ, გარდაიქმნა ფერმიუმ-255-ად ($^{255}\text{Fm}_{100}$), შემდეგი გარდაქმნილი რეაქციების თანახმად:



გარდა ატომბირთვული ბომბების აფეთქებისა, ელემენტ ფერმიუმის იზოტოპები მიიღება აგრეთვე რეაქტორში სათანადო ელემენტების (სამიზნეს) ნეიტრონებით ან აჩქარებული მუშტიანი ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციების თანახმად:



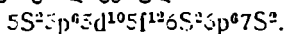
მიღებული ეინშტეინიუმ-253-ის ნეიტრონებით ბომბარდირებისას მიიღება:



ამჟამად ფერმიუმის 11 იზოტოპია ცნობილი 248—258 მასის რიცხვით. ამათგან ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა ფერმიუმ-257, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 79 დღეს.

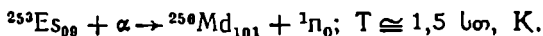
ფერმიუმის ელექტრული სტრუქტურა, მიღებული ექსტრაპოლირების მეთოდით, ასეთია:

ფერმიუმის K, L, M და N გარსები შეესებულება. მისი გარე გარსის ელექტრონები ასეა განლაგებული:



ფერმიუმი მიღებულია მხოლოდ იმპულსური რაოდენობით. ელექტრული სტრუქტურა და ის, რომ იგი ლანთანის ფტორიდთან (LaF_3) გამოილექება, მიგვითაუბებს იმაზე, რომ ფერმიუმი სამვალენტოვანი ელემენტია და ქიმიური თვისებებით სამვალენტოვანი აქტიონიდების მსგავსი უნდა იყოს.

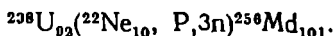
ელემენტ მენდელეევიუმის პირველი იზოტოპი მიღებულია 1955 წელს ა. გიორსის, გ. სიბორგისა და მათი თანამშრომლების მიერ ეინშტეინიუმის იმპულსური რაოდენობის (10^9 ატომის) აჩქარებული ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი თერმობირთვული რეაქციის თანახმად:



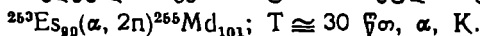
ამ ელემენტს მენდელეევიუმი ეწოდა დიდი რუსი მეცნიერის დ. ი. მენდელეევის პატივსაცემად.

მენდელეევიუმ-256 ელექტრონის მიტაცებით (K-მიტაცებით) გარდაიქმნება ფერმ-256-ად $^{256}\text{Md}_{101} + e_0^- \rightarrow ^{256}\text{Fm}_{100} + K$. ამის საფუძველზე განსაზღვრული მენდელეევიუმ-256-ის ნახევრად დაშლის პერიოდი დაახლოებით უდრის 1,5 საათს. პირველი ცდებით მენდელეევიუმ-256 მიღებული იქნა მხოლოდ 17 ატომის რაოდენობით. იდენტიფიცირება წარმოებს იონმიმოცვლითი მეთოდით ანიონიტზე გადატანისა და შემდეგში მისი გამორეცხვის საშუალებით.

იზოტოპი მენდელეევიუმ-256 მიღებულია აგრეთვე აჩქარებული 130 მეგაენერგიის მქონე ნეონიუმით ურანის ბომბარდირების შედეგად:



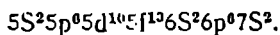
მენდელეევიუმის მეორე იზოტოპი 255 მასის რიცხვით მიღებულია 10^{12} ატომ ეინშტეინიუმ-253-ის ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:



მენდელეევიუმის მესამე იზოტოპი 257 მასის რიცხვით ($^{257}\text{Md}_{101}$) მიღებულია კალიფორნიუმ-252-ის მძიმე იონებით ბომბარდირების შედეგად, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 3 საათს; ალფა-გამომსხივებელია.

1967 წლის სექტემბერში კი მიიღეს მენდელეევიუმის მეოთხე იზოტოპი 258 მასის რიცხვით, ეინშტეინიუმის ალფა-ნაწილაკებით ბომბარდირების შედეგად, მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი დაახლოებით უდრის 2 თვეს. მაშასადამე, ეს იზოტოპი ყველაზე ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონეა დღემდე მიღებული მენდელეევიუმის იზოტოპებთან შედარებით და მას დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ელემენტ მენდელეევიუმის ქიმიურ თვისებათა შესასწავლად, რის საშუალებასაც იძლევა მისი ნახევრად დაშლის დიდი პერიოდი.

მენდელეევიუმის ფიზიკური და ქიმიური თვისებები ჯერ კიდევ საკმარისად შესწავლილი არ არის. გამოკვლეულია ის, რომ მენდელეევიუმი ლანთანის ფტორიდთან, ჰიდროქსანგთან ან კარბონატთან გამოილექება, ხოლო კონცენტრული აზოტმჟავას და მარილმჟავას ხსნარიდან ექსტრაჰირდება ტრიბუტილფოსფატით. ამავე დროს მისი განაწილების კოეფიციენტი მეტია, ვიდრე ფერმიუმის და კალიფორნიუმისა; ხსნარში სამვალენტოვანი იონის თვისებებს ამჟღავნებს. გამომდინარე ზემოაღნიშნულიდან, მისი ელექტრული სტრუქტურა უნდა იყოს: მენდელეევიუმის K, L, M და N გარსები შევსებულია. მისი გარე გარსის ელექტრონების განლაგება შემდეგი უნდა იყოს:

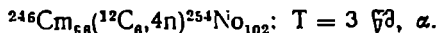


მაშასადამე, მენდელეევიუმი აქტინიუმის ანალოგიური ელემენტია.

ნ ო ბ ე ლ ი უ მ ი (NO), Z=102

1957 წელს სტოკჰოლმის ნობელის ინსტიტუტში მომუშავე ამერიკელმა, ინგლისელმა და შვედელ მეცნიერთა ჯგუფმა განაცხადა, რომ მათ მიიღეს 102 რიგითი ნომრის მქონე ახალი ელემენტი ნახშირბადის ($^{13}C_6$) იონებით კიურიუმ-244 ბომბარდირების შედეგად. ეს შედეგი საექვოლ მიიჩნეის.

1958 წელს საბჭოთა მეცნიერების ჯგუფმა გ. ფლეროვის ხელმძღვანელობით და ამერიკელი მეცნიერების ჯგუფმა გ. სიბორგის ხელმძღვანელობით ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად დაამტკიცეს 102 რიგითი ნომრის მქონე ელემენტის აღმოჩენის ფაქტი. ამ ცნობების მიხედვით, მეასორე ელემენტი მიიღება უანგბადის ($^{16}O_8$) აჩქარებული იონით პლუტონიუმის ბომბარდირებისას. ის მიიღება აგრეთვე ნახშირბადის ($^{12}C_6$) აჩქარებული იონით კიურიუმის ბომბარდირებისას:

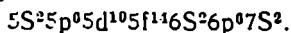


ამ ახალ მეასორე ელემენტს ნობელიუმი ეწოდა.

ჯერჯერობით ნობელიუმის ორი იზოტოპია ცნობილი 254 და 255 მასის რიცხვით.

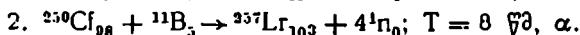
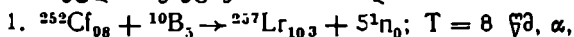
$^{254}NO_{102}$ -ის ნახევრად დაშლის პერიოდი ≈ 3 წამს; ალფა-გამომსხივებელია, ხოლო $^{255}NO_{102}$ -ის ნახევრად დაშლის პერიოდი კი დაახლოებით უდრის 8 წამს. ესეც ალფა-გამომსხივებელია. ნობელიუმი აქტინიდების მწკრივის უკანასკნელის წინა ელემენტია და მისი ანალოგი, იტერბიუმის მსგავსად, შეიძლება აღდგენილ იქნეს ორვალენტოვანობამდე, რაც აქტინიდებიდან მისი ადვილად გამოყოფის შესაძლებლობას ქმნის. ნობელიუმის ელექტრული სტრუქტურა უნდა იყოს ასეთი:

K, L, M და N გარსები შეესებულა. გარე გარსის ელექტრონების განლაგება კი უნდა იყოს:



ლ ა უ რ ე ნ ს ი უ მ ი (Lr), Z = 103

1961 წელს ბერკლში (აშშ, კალიფორნიის შტატი) ლაურენსის სახელობის რადიაციული ლაბორატორიის თანამშრომლებმა ა. გიორსის ხელმძღვანელობით განაცხადეს, რომ მიღებულია 103 რიგითი ნომრის მქონე ელემენტი. ასმესამე ელემენტი მიიღეს ბორის ($^{10-11}B_5$) აჩქარებული იონით, კალიფორნიუმის ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციების თანახმად:



ამ ელემენტს ლაურენსიუმი ეწოდა ფიზიკოს ე. ლაურენსის პატივსაცემად. ლაურენსიუმ-257-ის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 8 წამს; ალფა-გამომსხივებელია. ქიმიური იდენტიფიკაცია მაშინ ვერ მოხერხდა.

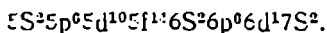
1966 წელს ლაურენსიუმის იზოტოპი 256 მასის რიცხვით სინთეზირებული იქნა საბჭოთა მეცნიერის გ. ფლეროვის ლაბორატორიაში, ჟანგბადის $^{18}O_8$ აჩქარებული იონით, ამერიციუმ-243-ის ბომბარდირების შედეგად:



ჯერჯერობათ ლაურენსიუმის იდენტიფიკაცია ქიმიურად ვერ მოხერხდა, მაგრამ უნდა ვიფიქროთ, რომ მას 5f ქვეჯგუფის 14 ელექტრონით შეესებულნი გარსი აქვს.

ლაურენსიუმის ელექტრული სტრუქტურა უნდა იყოს ასეთი: ლაურენსიუმის K, L, M და N გარსები შეესებულა.

გარე გარსის ელექტრონების განლაგება ასეთი უნდა იყოს:

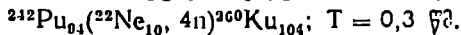


ამრიგად, ლაურენსიუმი აქტინიდების მწკრივის უკანასკნელი წევრია.

კ უ რ ჩ ა ტ ო ვ ი უ მ ი (Ku) Z = 104

1964 წელს კურჩატოვიუმის იზოტოპი 260 მასის რიცხვით სინთეზირებული იქნა საბჭოთა ფიზიკოსების ჯგუფის მიერ (რომელსაც გ. ფლეროვი ხელმძღვანელობდა), 113—115 მე ვ ენერგიის მქონე აჩ-

ქარებული ნეონიუმით პლუტონიუმის ბომბარდირების შედეგად, ამგვარი ატომბირთვული რეაქციის თანახმად:

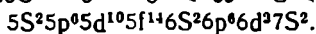


ამ ელემენტს კურჩატოვიუმი ეწოდა დიდი საბჭოთა მეცნიერის ი. კურჩატოვის პატივსაცემად.

სულ სინთეზირებული და იდენტიფიცირებულია კურჩატოვიუმის 150 ატომი და შესწავლილია ზოგიერთი მისი ქიმიური თვისება.

კურჩატოვიუმის ელექტრული სტრუქტურა უნდა იყოს ასეთი: K, L, M და N გარსები შევსებულია.

გარე გარსის ელექტრონების განლაგება უნდა იყოს ასეთი:



კურჩატოვიუმი განსხვავდება მძიმე აქტინიდებისაგან არა მარტო ელექტრული კონფიგურაციით, არამედ ქიმიური თვისებებითაც. კურჩატოვიუმის გარე გარსის ელექტრონების განლაგება $6d^2 7S^2$ ანალოგიურია თორიუმისა $6d^2 7S^2$ და ჰაფნიუმის $5d^2 6S^2$ ელექტრონების განლაგებისა. ამავე დროს ზოგიერთი ქიმიური თვისებით კურჩატოვიუმი გავს თორიუმს და ჰაფნიუმს. ამიტომ ის მოთავსებულია პერიოდული სისტემის IV ჯგუფის მე-10 მწკრივში.

ელემენტების პერიოდულ სისტემაში აქტინიდების მდგომარეობა და მათი კლასიფიკაცია ატომის აღნაგობის თვალსაზრისით

ჯერ კიდევ 1923 წელს ნილს ბორმა გაითვალისწინა მეშვიდე პერიოდში ელემენტების არსებობა, რომლებიც 4f ქვეჯგუფის შევსებით წარმოქმნილ ლანთანიდებზე უფრო მსგავსი იქნებიან და რომლებიც 5f ქვეჯგუფის შევსებით წარმოიქმნება. ტრანსურანიდების ელემენტების და განსაკუთრებით ამერიციუმისა და მისი მომდევნო ელემენტების აღმოჩენებმა დაადასტურეს ნილს ბორის ეს დასკვნა.

როგორც აღვნიშნეთ, ამერიციუმის ელექტრული სტრუქტურა ანალოგიურია ევროპიუმის 4f სერიის ელემენტების ელექტრული სტრუქტურისა, მაგრამ თავიანთი ქიმიური თვისებებით ისინი განსხვავდებიან. მაგალითად, ევროპიუმისაგან განსხვავებით, ამერიციუმი ხსნარში არ არსებობს ორვალენტოვანი იონის სახით, რაც უნდა აიხსნას იმით, რომ ევროპიუმის 4f ქვეჯგუფის ელექტრონებისა და ამერიციუმის 5f ქვეჯგუფის ელექტრონების ბმის ენერგია სხვადასხვაა. ხსნარში ამერიციუმისათვის ყველაზე მდგრადი ვალენტოვნობა არის სამი. ამერიციუმის სამვალენტოვანი ნაერთები, ურანიდების, აქტინი-

დებისა და ლანთანის ჰომოლოგი-აქტინიუმის სამვალენტოვან ნაერთებთან უფრო იჩენს მსგავსებას, ვიდრე ევროპიუმის ნაერთებთან. ამ ფაქტიდან წარმოიშვა „აქტინიდების“ ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად ელემენტების ჯგუფი, რომელთა რიგობრივი რიცხვი ძვეს ინტერვალში 89—103-მდე, მოთავსებულია ერთ უჯრედში—პერიოდული სისტემის მესამე ჯგუფში, და აქტინიუმის მომდევნო თოთხმეტეული, რიგითი ნომრით 90—103, ცალკე ოჯახის სახითაა განლაგებული მწკრივში პერიოდული სისტემის ქვემოთ, ლანთანიდების ოჯახის ანალოგიურად. როგორც ეს ნათლად ჩანს ურანიდებისა და აქტინიდების ვალენტოვნობისა და მათი ელექტრული კონფიგურაციების ცხრილებიდან, აქტინიუმის მეშვიდე გარსის $7S$ ქვეჯგუფში ორი ელექტრონია, ხოლო $6d$ ქვეჯგუფში ზოგიერთისათვის ერთი; მაშასადამე, აქტინიუმის გარე გარსის ($6S^2 6P^6 6d^1 7S^2$) ელექტრული კონფიგურაცია ლანთანის ელექტრული კონფიგურაციის ($5S^2 5P^6 5d^1 6S^2$) ანალოგიურია; არც აქტინიუმს და არც ლანთანს არც ერთი f ელექტრონი არა აქვს. ამიტომ აქტინიუმი თავისი ქიმიური თვისებებით ახლოს დგას ლანთანთან და იშვიათ მიწათა ელემენტებთან. აქტინიუმის მომდევნო ელემენტ თორიუმსაც მეხუთე გარსის $5f$ ქვეჯგუფში არც ერთი ელექტრონი არა აქვს. სამაგიეროდ მეექვსე გარსის $6d$ ქვეჯგუფში ორი ელექტრონია, რაც დადასტურებულია ატომის მიერ ემისირებული რენტგენისა და ოპტიკური სპექტრების ანალიზის საფუძველზე. ეს მაშინ, როდესაც თორიუმის მომდევნო ელემენტის პროტაქტინიუმის მეხუთე გარსის $5f$ ქვეჯგუფს 2 ელექტრონი ემატება. ამის შემდეგ ტრანსურანიდების მომდევნო ელემენტებში მიმდინარეობს თითოეული ელემენტის $5f$ ქვეჯგუფში თითო ელექტრონის მიმატება და მეშვიდე ელემენტ კიურიუმის მეხუთე გარსის $5f$ ქვეჯგუფი 7 ელექტრონით ნახევრამდე შევსებულია (თითო ორბიტზე თითო ელექტრონი აქვს). 7 ელექტრონით f ქვეჯგუფი ნახევრამდე შევსებულად ითვლება იმიტომ, რომ თეორიის თანახმად f ქვეჯგუფში შეიძლება იყოს მხოლოდ 14 ელექტრონი. ამ მწკრივის ასმესამე ელემენტ ლავრენსიუმის $5f$ ქვეჯგუფი ელექტრონებით მთლიანად შევსებულია და ის წარმოადგენს აქტინიდების უკანასკნელ ელემენტს. ხოლო მეასოთხე ელემენტ კურჩატოვიუმის $6d^2 7S^2$ ელექტრონებით იწყება გარდამავალი ლითონების მეოთხე სერია. მაშასადამე, ის თავისი ქიმიური თვისებებით უფრო თორიუმს ($6d^2 7S^2$) და ჰაფნიუმს ($5d^2 6S^2$) უნდა ემსგავსებოდეს; მოთავსებულია პერიოდული სისტემის IV ჯგუფის მე-10 მწკრივში.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მსუბუქ აქტინიდებში β ორბიტი უფრო მდგრადია, ხოლო მძიმე აქტინიდებში $5f$ ორბიტი, ეს იმიტომ მტკიცდება, რომ თორიუმის შეუწყვილებელი ელექტრონი, რომელიც ლოკალიზებული უნდა ყოფილიყო $5f$ ორბიტაზე, გადადის უფრო მდგრად β ორბიტაზე. 91—95 რიგითი ნომრის მქონე ელემენტებში $5f$ და β ქვეჯგუფების ენერგია უმნიშვნელოდ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ამიტომ ორ ასეთ ქვეჯგუფში ელექტრონების გადასვლა ადვილად ხდება. ამით აიხსნება ურანის, ნეპტუნიუმის, პლუტონიუმისა და ამერიციუმის, როგორც ეს ურანიდებისა და აქტინიდების ვალენტოვნობის ცხრილიდან ჩანს, ვალენტოვნური მდგომარეობის სიმრავლე (II, III, IV, V, VI). კიურიუმიდან დაწყებული, მომდევნო ელემენტებში $5f$ გარსი უფრო და უფრო სტაბილიზდება, რის გამოც კიურიუმისა და მის მომდევნო ელემენტებში, ლაურენსიუმის ჩათვლით, უფრო მდგრადია და დამახასიათებელია სამვალენტოვანი მდგომარეობა. ამრიგად, წინანდელი წარმოდგენა იმის შესახებ, რომ აქტინიდების მომდევნო ყველა ელემენტი, ლაურენსიუმის ჩათვლით, მიეკუთვნება აქტინიდების ჯგუფს, არ შეიძლება სწორად ჩათვალოს. უფრო სწორია მათი დაყოფა ორ ჯგუფად: ურანიდებად და აქტინიდებად. ურანიდებს მიეკუთვნება ურანი, ნეპტუნიუმი, პლუტონიუმი და ამერიციუმი. ამას ისიც ადასტურებს, რომ ხუთი და ექვსვალენტოვანი ურანი, ნეპტუნიუმი, პლუტონიუმი და ამერიციუმი ხსნარებში შესაბამისად ყოველთვის წარმოქმნიან UO_2^{2+} , UO_2^{2+} ; NpO_2^{2+} , NpO_2^{2+} ; PuO_2^{2+} , PuO_2^{2+} ; AmC_2^{2+} და AmC_2^{2+} იონებს, აქტინიდებს კი მიეკუთვნება აქტინიუმი, თორიუმი, გარდამავალი ელემენტი პროტაქტინიუმი და კიურიდან დაწყებული ლაურენსიუმის ჩათვლით, ე. ი. 89—91 და 96—103 რიგითი ნომრის მქონე ელემენტები.

ცხრილი 8

ურანიდებისა და აქტინიდების ვალენტოვნობა
(ელემენტის მთავარი ვალენტოვნობა აღნიშნულია (+) ნიშნით)

ვალენტოვნობა	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am
II				+	+	+	+
III	(+)	+	+	+	+	+	(+)
IV		(+)	+	+	+	(+)	+
V			(+)	+	(+)	+	+
VI				(+)	+	+	+

ცხრილი 8 (გაგრძელება)

ვალენტურობა	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
II	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
III								
IV	+	+						
V								
VI								

ცხრილი 9

ურანიდებისა და აქტინიდების ელექტრული კონფიგურაციები

	Z	სიმ.	0 გარსი (n = 5)				P გარსი (n = 6)			Q გარსი (n = 7)
			5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
აქტინიდები	89	Ac	2	6	10		2	6	1	2
	90	Th	2	6	10		2	6	2	2
	91	Pa	2	6	10	2	2	6	1	2
ურანიდები	92	U	2	6	10	3	2	6	1	2
	93	Np	2	6	10	4	2	6	1	2
	94	Pu	2	6	10	6	2	6		2
	95	Am	2	6	10	7	2	6		2
აქტინიდები	96	Cm	2	6	10	7	2	6	1	2
	97	Bk	2	6	10	9	2	6		2
	98	Cf	2	6	10	10	2	6		2
	99	Es	2	6	10	11	2	6		2
	100	Fm	2	6	10	12	2	6		2
	101	Md	2	6	10	13	2	6		2
	102	No	2	6	10	14	2	6		2
	103	Lr	2	6	10	14	2	6	1	2

ატომბირთვული ენერგია

1. ატომბირთვული ენერგიის მიღება. ატომბირთვული ენერგიის წყარო პრაქტიკულად დაუშრეტელია. ასე, მაგალითად: ურანისა და თორიუმის საქვეყნოდ ცნობილი მსოფლიო მარაგი 26 მილიონ ტონიდან შეიძლება მიღებულ იქნას ათეულჯერ მეტი ენერგია ბუნებაში ყველა დღემდე არსებულ ორგანულ საწვავთა (ნახშირი, ნავთი, ბუნებრივი აირი) ჯამურ ენერგიასთან შედარებით.

თერმობირთვული რეაქციის გზით მარტო წყალში შემავალი მძიმე წყალბადების — დეიტერიუმისა და ტრიტიუმისაგან, წყალში მათი უმნიშვნელო რაოდენობით (${}^2\text{H}_1 = 2,2 \cdot 10^{-8}\%$, ${}^3\text{H}_1 = 3 \cdot 10^{-16}\%$) შემცველობის მიუხედავად, შეიძლება მიღებულ იქნას მილიონჯერ მეტი ენერგია ბუნებაში არსებული ურანის, თორიუმისა და ყველა სახის ორგანული საწვავის ჯამურ ენერგიასთან შედარებით. აღსანიშნავია ისიც, რომ ერთ ჰიქა წყალში შემავალ მძიმე წყალბადებიდან შეიძლება მიღებულ იქნას 350 ლიტრი ბენზინიდან მიღებული ენერგიის ეკვივალენტური ენერგია, ხოლო ერთი ჰიქა მძიმე წყლისაგან კი — 1000 ტონა საუკეთესო მარისხის ქვანახშირიდან მიღებული ენერგიის ეკვივალენტური ენერგია. ამავე დროს იგი შესაბამის მძიმე შრომასაც არ მოითხოვს.

ისმება კითხვა, რა გზით შეიძლება ეს ზეუდიდესი, დაუშრეტელი ატომბირთვული ენერგიის მარაგი განთავისუფლებულ და გამოყენებულ იქნას?

ატომბირთვული ენერგიის განთავისუფლების ორი შესაძლებლობა არსებობს:

- 1) მძიმე ატომბირთვების შედარებით უფრო მსუბუქი ატომბირთვებად გაყოფა-გახლეჩის გზა;
- 2) მჩატე ატომბირთვებიდან შედარებით უფრო მძიმე ატომბირთვების მიღების გზა.

რადიკატივობის აღმოჩენის დღიდანვე გარკვეული იყო, რომ ატომბირთვს შეუძლია გამოყოს ენერგია. მაგრამ ბუნებრივი რადიკატიური ელემენტების ატომბირთვების მიერ გამოყოფილი ენერგია იმდენად უმნიშვნელო იყო, რომ მას პრაქტიკული მნიშვნელობა არ ჰქონდა, ხოლო ენერგიის გამოყოფით მიმდინარე ატომბირთვული რეაქციები კი მოითხოვდა დიდი რაოდენობის სწრაფი ნაწილაკების ნაქადს (ყუმბარებს), რომელთა უმრავლესობაც ატომბირთვში ვერ აღწევდა და ვერც მათ გარდაქმნას იწვევდა.

ატომბირთვული ენერგიის ფართო მასშტაბით მიღებისათვის საჭირო იყო ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განხორციელება, ე. ი. ისეთი რეაქციისა, რომლის შედეგად მიღებული ელემენტები ერთსა და იმავე დროს იქნებოდნენ ამ პროცესის პროდუქტები და ასეთივე პროცესის განმავითარებელნი.

1939 წელს გერმანელი ფიზიკოსების მანის, შტრასმანისა და მიტნერის მიერ აღმოჩენილ და დამტკიცებულ იქნა ის, რომ ნეიტრონული ბომბარდირებისას ადგილი აქვს ურანის ატომბირთვის ორი დაახლოებით 2-ჯერ უფრო მსუბუქი ელემენტის ატომბირთვებად გახლეჩას. ნეიტრონების მოქმედებით მძიმე ატომბირთვების ორ შედარებით უფრო მსუბუქ ატომბირთვებად გაყოფა-გახლეჩის პროცესს იძულებითი გახლეჩა ეწოდება. ატომთა ბირთვების გახლეჩის შედეგად მიღებულ ატომბირთვებს ნახლეჩები ეწოდებათ.

იმავე 1939 წელს საბჭოთა მეცნიერებმა ფლეროვმა და პეტრო-ჟაიკიმ აღმოაჩინეს, რომ ურანის გაყოფა შეიძლება წარმართოს ყოველგვარი გარეგანი ზემოქმედების გარეშე თავისთავად (სპონტანურად).

ამრიგად, აღმოჩენილ იქნა ატომბირთვის ბუნებრივი გარდაქმნის ახალი სახე, თავისთავად გაყოფის პროცესი.

ურანის ბირთვის გაყოფის თეორია ერთსა და იმავე დროს, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, დაამუშავეს საბჭოთა ფიზიკოსმა ფრენკელმა და დანიელმა მეცნიერმა ნ. ბორმა.

თავისთავად გაყოფის პროცესის ალბათობა ძალიან მცირე აღმოჩნდა, რადგან მრავალი ატომბირთვი განიცდის ალფა-გარდაქმნას. ერთი და იგივე ატომბირთვებიც კი გაყოფისას სხვადასხვა წყვილ ნახლეჩებს იძლევა. ამრიგად, ატომბირთვების გაყოფის საფუძველზე მრავალი სხვადასხვა სახის ნახლეჩი წარმოიქმნება, რომლებიც საშუალო ატომური წონის ელემენტებს წარმოადგენენ და აქვთ დადებითი მუხტები.

ატომბირთვების გახლეჩას თან ახლავს დამატებით ორი-სამი თავისუფალი დიდი ენერჯის მქონე ნეიტრონის გამოყოფა, რომელთაც მეორადი ნეიტრონები ეწოდებათ.

თუ ურანის გახლეჩის დროს წარმოქმნილი მეორადი ნეიტრონები ხელახლა იქნა გამოყენებული ატომბირთვების გახლეჩისათვის, განხორციელდება ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია. მაგრამ ატომბირთვების დაყოფის ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განხორციელებისათვის საჭირო იყო რიგი სიძნელებების გადალახვა. როგორც ცნობილია, ბუნებრივი ურანის მადნიდან მიღებული ლითონური უნარი ძირითადად წარმოადგენს ალფა-გამომსხივებელი, ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე სამი იზოტოპის ნარევის. სახელდობრ: ურან-238-ს შეიცავს 99,28%-ის რაოდენობით, ურან-235-ს 0,714%, ხოლო ურან-234-ს კი 0,006%-ის რაოდენობით.

როგორც გამოიჩვენა, მეორადი ნეიტრონების ენერჯია საკმარისი არ არის ურან-238 ატომბირთვების გახლეჩისათვის. ურან-238-ით მეორადი ნეიტრონები შთაინთქმებიან ატომბირთვების გაუხლეჩავად. ურან-238-ის ატომბირთვები შესაძლებლად იხლიჩება მხოლოდ 1 მილიონ ელექტრონვოლტზე მეტი ენერჯის მქონე ნეიტრონებით. ამ პირობებშია ც უმრავლესი ატომბირთვები კი არ იხლიჩებიან, არამედ გარდაიქმნებიან ურან-239-ის ატომბირთვებად.

ამრიგად, ურანის მადნის ძირითადი შემადგენელი იზოტოპი — ურან-238-ის ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განსახორციელებლად მეორადი ნეიტრონები გამოუხსადეგარი აღმოჩნდა, ხოლო ურან-234-ის გამოყენება პრაქტიკულ მნიშვნელობას მოკლებულია მადანში მისი უმნიშვნელო რაოდენობით შემცველობის გამო. რჩება მხოლოდ ურან-235-ის პრაქტიკულად გამოყენების შესაძლებლობა, რომლის ატომბირთვები იხლიჩება ნებისმიერი სიჩქარის მქონე ნეიტრონების მოქმედებით — როგორც ნელი ნეიტრონებით, ისე სწრაფი ნეიტრონებითაც. ამ იზოტოპების დაშლა სწრაფი ნეიტრონებით ნაკლებ ეფექტურია, ვიდრე ნელი ნეიტრონებით. მაშასადამე, ურან-235 წარმოადგენს კარგ ნედლეულს ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განსახორციელებლად და ატომბირთვების ზეუდიდესი ენერჯის გამოსაყოფად.

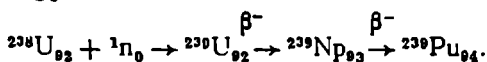
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ატომბირთვის გახლეჩისას ადგილი აქვს ზეუდიდესი ენერჯისა და ორი-სამი თავისუფალი ნეიტრონის გამოყოფას. ამ მეორად ნეიტრონებს შეუძლიათ ურან-235-ის შემდგომი ორი ან სამი ატომბირთვის გახლეჩა. ყოველი ასეთი პროცესის დროს ახალი ნეიტრონები ამოიტყორცნება, რომლებიც იწვევენ ურანის შემდგომი ატომბირთვების გაყოფას და ა. შ. ამრიგად, ერთ თავისუფალ ნეიტრონს შეუძლია გამოიწვიოს ჯაჭვური ბირთვული რეაქ-

ცია მეორადი ნეიტრონების ხარჯზე. ეს პროცესი მიმდინარეობს თავისთავად მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ურან-235-ის რაოდენობა იქნება ტოლი ან მეტი ე. წ. კრიტიკული მასისა. საერთოდ ატომბირთვული „საწვავი“ მასალის, ამ შემთხვევაში ურანის, იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განსახორციელებლად, ეწოდება კრიტიკული მასა. კრიტიკული მასისა და მასზე მეტი რაოდენობის შემთხვევაში ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია ზეუდიდესი სისწრაფით მიმდინარეობს. მაგალითად, 1 კგ ურანის — დაახლოებით 3. 10²⁴ ატომბირთვის სრული დაშლისათვის საჭიროა მხოლოდ წამის მემილიონედი ნაწილი. გამოყოფილი ზეუდიდესი ენერგია კი ეკვივალენტური იქნება იმ ენერგიისა, რომელიც განთავისუფლდება 20000 ტონა ტროტილის აფეთქებისას, რაც უდრის 2. 10⁷ კილოვატ საათს ანუ 2.10¹⁶ კალორიას.

ამრიგად, ურანის გაყოფის ჯაჭვურმა ბირთვულმა რეაქციამ ატომბირთვული ზეუდიდესი ენერგიის გამოყენების შესაძლებლობა გამოამჟღავნა. მაგრამ შეცნიერება ამ შემთხვევაში ორ დიდ წინააღმდეგობას წააწყდა. ჯერ ერთი, ურან-235 ატომბირთვების გაყოფის ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია ზეუდიდესი სისწრაფით მიმდინარეობს და უნდა გადაწყვეტილიყო მისი მართვის საკითხი. გარდა ამისა, ურან-235 ურანის მადანში, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მხოლოდ 0,714%-ის რაოდენობით გვხვდება, ხოლო ურან-238 გახლეჩისათვის საჭიროა უფრო სწრაფი ნეიტრონები, ვიდრე ურანის მიერ გამოყოფილი მეორადი ნეიტრონები.

ქიმიური და ფიზიკური მეთოდებით ურან-238-სა და ურან-235-ის ერთმანეთისაგან დაცილება არაეფექტური აღმოჩნდა. მალე ატომბირთვული „საწვავის“ მიღების ახალი ხერხი იქნა აღმოჩენილი.

გამოირკვა, რომ ურან-238 მიერ ნეიტრონების შიტაცების დროს წარმოიქმნება ურანის ახალი იზოტოპი ²³⁹U₉₂. მიღებული ურანი-239 არ არის მდგრადი; განიცდის ბეტა-გარდაქმნას, რის შედეგად მიიღება ნეპტუნი — ²³⁹N₉₃. ნეპტუნიც უმდგრადია და ბეტა-გამომსხივებელი, რომლის ბეტა-გარდაქმნის შედეგად მიიღება პლუტონიუმი — ²³⁹P₉₄. პლუტონიუმის ნახევრად დაშლის პერიოდი T=24000 წელს. პლუტონიუმი-239 საინტერესოა იმათ, რომ ნელი თბური ნეიტრონების მოქმედებით ურან-235 ანალოგიურად ავითარებს ჯაჭვურ ბირთვულ რეაქციას. ზემოაღნიშნული პროცესი შემდეგი ბირთვული რეაქციით გამოიხატება:



როგორც ^{238}Pu -დან ^{239}Pu -ის მიღებას, ისე მთელი რიგი სხვა ელემენტებიდან ახალი იზოტოპების მიღებას ურანის რეაქტორებში აწარმოებენ.

2. ურანის რეაქტორი. ბირთვული რეაქტორების მრავალსახეობიდან ყველაზე გავრცელებულია ურანის რეაქტორი ანუ ურანის ქვაბი, რომელშიც ხორციელდება ურანის გაყოფის რეაქციები. რეაქტორში ბირთვული რეაქციის წარმართვისათვის საჭირო წელი ნეიტრონები მიიღება ურანის ბირთვების გაყოფისას წარმოქმნილი სწრაფი ნეიტრონების შენელებით. სწრაფი ნეიტრონების შესანელებლად გამოიყენება სხვადასხვა ნივთიერება — სუფთა გრაფიტი, მძიმე წყალი, ჩვეულებრივი წყალი და სხვ. ქვემოთ განხილული იქნება ერთ-ერთი ტიპის ურან-გრაფიტული რეაქტორი. ურან-გრაფიტული რეაქტორი ცილინდრული ან კუბიკური ფორმისაა და ჩადგმულია ფოლადის გარსაცმში, რომელიც ბეტონის ფუძეს ეყრდნობა. გარსაცმი გამოხდილი წყლით არის ავსებული. წყლის დანიშნულებაა: სწრაფი ნეიტრონების სიჩქარის შენელება, ურანის ლეროებში გამოყოფილი სითბოს ართმევა, რეაქტორის გაცივება. გარდა ამისა, ეს წყალი წარმოადგენს რეაქტორის ბიოლოგიური დაცვის ერთ-ერთ შემადგენელ ელემენტს.

გრაფიტის ცენტრალური ნაწილი დასერილია ხვრელებით; ხვრელებს შორის მანძილი უდრის 200 მმ, დიამეტრი კი—30—40 მმ. ამ ნახვრეტებში გარკვეული წესის მიხედვით, ვერტიკალურ მდგომარეობაში თავსდება ალუმინის თხელ გარსაცმში ჩასმული ურანის მრგვალი ლეროები, ანუ ე. წ. სამუშაო არხები. თუ ურანის ლეროები საკმაოდ რაოდენობით არ არის ჩატვირთული, მნიშვნელოვანი რიცხვი ნეიტრონებისა რეაქტორიდან ისე გამოიტყორცნება, რომ ვერ ხვდება მიზანს, ე. ი. ურანს. ურანის იმ რაოდენობას, რომლის დროსაც ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია იწყება, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კრიტიკული მასა ეწოდება. რეაქტორის მუშაობის დროს ურანში, რომელიც რეაქტორში ჩაიტვირთა, ხორციელდება ზემოთ განხილული ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია. ურანის ატომბირთვების გახლეჩის შედეგად მიიღება ორი ახალი, დაახლოებით 2-ჯერ უფრო მსუბუქი, ვიდრე ურანის ატომია, დადებითად დამუხტული ელემენტები. რადგან ისინი დადებითად არიან დამუხტული, განიზიდებიან და უდიდესი სიჩქარით იწყებენ მოძრაობას სხვადასხვა მიმართულებით, მაგრამ ურანის მასაში მაშინვე მუხრუჭდებიან და ჩერდებიან. ამ დამუხრუჭების შედეგად გამოიყოფა სითბო, რომელიც იწვევს ურანის ლეროების გაცივლებას. ეს სითბო გადაეცემა თხელკედლიან ფოლადის მილებში გა-

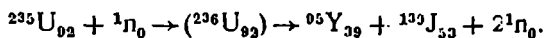
მაველ წყალს, რომელიც შემოდის სამუშაო არხის ზემო თავიდან, მიდის ძირს და ბრუნდება ზემოთ. ამრიგად, შემოუვლის ურანის სითბოს გამოყოფი ელემენტების ზედაპირს. გარდა ამისა, სითბო გადაეცემა გარსაცმში მოთავსებულ წყალს. იმისათვის, რომ წყლის ტემპერატურამ გარკვეულ ზღურბლს არ გადააჭარბოს, განუწყვეტილად ზღვება ამ წყლის სითბოს ართმევა. გაცივებული წყალი კვლავ უბრუნდება რეაქტორს. მიღებული სითბოს ენერგია კი სხვადასხვა მიზნისათვის გამოიყენება, სახელდობრ, ელექტროენერგიის მისაღებად. ე. ი. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, წყალი წარმოადგენს სწრაფი ნეიტრონების ერთ-ერთ შემანელებელ ნივთიერებას. ამასთან სწრაფი ნეიტრონების შემანელებელი ნივთიერებაა გრაფიტი, რომლის სისქე მისი ცენტრალური ნახვრეტებიანი ნაწილის გარშემო უდრის 80 სმ.

ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია რეაქტორში დიდი ხნის განმავლობაში მიმდინარეობს განუწყვეტილად — მანამ, ვიდრე დროის ერთეულში ატომბირთვების გახლეჩათა რიცხვი მუდმივი გახდება. სხვანაირად რომ ვთქვათ, სანამ ურანის თითო ატომბირთვის გახლეჩასთან ერთად გამოყოფილ ორ-სამ ნეიტრონიდან ერთი მაინც ხვდება მეზობელი ღეროების რომელიმე ჯერ კიდევ გაუხლეჩავი ურანის ატომბირთვში და იწვევს მის გახლეჩას. თუ დროის ერთეულში ურანის ატომბირთვი ერთზე ნაკლებ ნეიტრონს მიიტაცებს, რეაქცია წყდება, და პირუკუ. თუ მეტს მიიტაცებს, რეაქცია სწრაფად ვითარდება და საჭიროა მისი შესუსტება. ნეიტრონების შთანთქმის (მიტაცების) პროცესზე ზემოქმედება წარმოებს სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით, რომლითაც ხორციელდება რეაქტორის მუშაობის რეგულირება, რეაქციის მსვლელობის ოპტიმალურ პირობებში ჩაყენება, სრულიად შეჩერება, რეაქტორის კვლავ ამუშავება და ა. შ.

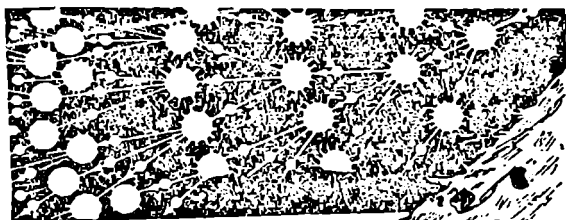
ეს ზემოქმედება ხორციელდება ბორის კარბიდისა და კადმიუმისაგან დამზადებული ღეროების საშუალებით. თუ რეაქცია მზარდად (სწრაფად) ვითარდება ღეროების ავტომატური მართვის ორგანოთი, ბორის კარბიდისაგან დამზადებულ ღეროებს უფრო ღრმად ჩაუშვებენ რეაქტორში, რომლებიც შთანთქავენ ნეიტრონებს და ჯაჭვური რეაქცია სუსტდება. პირუკუ, თუ რეაქციის სისწრაფის გაზრდაა საჭირო, მას უფრო ზევით ამოსწევენ რეაქტორიდან. ასე არეგულირებენ ატომური რეაქტორის შიგნით ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის მსვლელობას. რეაქტორში იმავე ღეროების ღრმად ჩაშვება, საჭიროების შემთხვევაში, ჯაჭვური რეაქციის სრულიად შეწყვეტასაც იწვევს. გარდა სარეგულაციო ღეროებისა, რეაქტორს გაკეთებული აქვს აგრეთვე ავარიული ღეროები, რომლებიც ავტომატურად მოქმედებენ და ნორმალური ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევის შემთხვევაში

ჯაქვეური რეაქციის მიმდინარეობას ერთბაშად წყვეტენ რეაქტორის აქტიურ ზონაში დაშვებით.

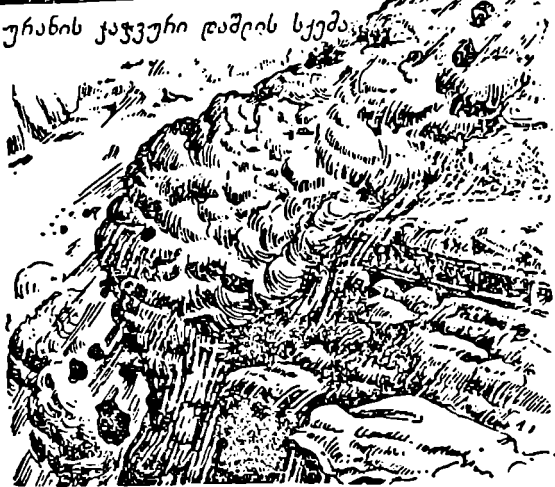
ურანის რეაქტორის მუშაობის დროს ურან-235-ის ატომების გახლეჩის შედეგად წარმოქმნილი ორი ატომბირთვის მასათა ფარდობა იშვიათად — დაახლოებით 600-ჯერ ნაკლებ შემთხვევაშია თანასწორი, უფრო ხშირად, წარმოქმნილი ორი ატომბირთვის მასათა ფარდობა არის დაახლოებით 2—3. მაგალითად:



ან კიდევ წარმოიშობა ცეზიუმი და რუბიდიუმი, ბრომი და ლანთანიუმი, სტრონციუმი და ქსენონი, ბარიუმი და კრიპტონი და სხვა, რომელთა მასა მნიშვნელოვნად ნაკლებია ურანის მასაზე. მაგრამ, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ატომურ რეაქტორში სხვა პროცესიც მიმდინარეობს.

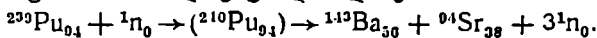


ურანის ჯაქვეური დაშლის სქემა



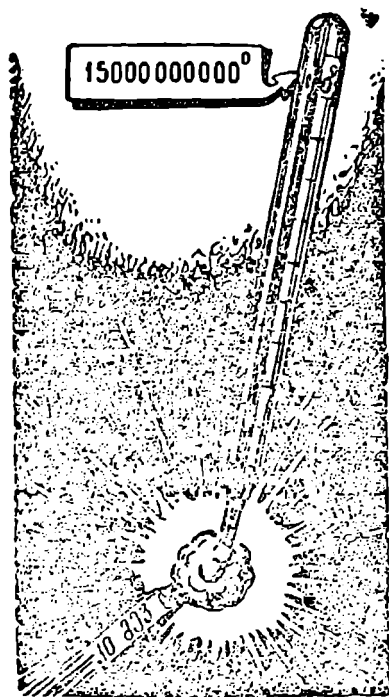
ნახ. 26. ურანის ჯაქვეური ბირთვული დაშლის რეაქტორი, თოლის ზევის მსგავსი.

ნარეობს — ნეიტრონების შთანთქმით ახალი ელემენტების მიღება, რომელთა მასა ურანის მასაზე მეტია. მათი თავისებურება ის არის, რომ ისინი თვითონ შეიძლება „საწვავი“ გახდნენ ურანის რეაქტორისათვის. მათ რიცხვს ეკუთვნის, კერძოდ, პლუტონიუმ-239, რომელიც რეაქტორში ურან-235 ანალოგიურად იხლიჩება:



ურან-238-დან მიღებულ პლუტონიუმს დარჩენილ ურანიდან სუფთა სახით გამოყოფენ ქიმიური ხერხით. ამ გზით მიიღება ერთ-ერთი ატომბირთვული „საწვავი“ პლუტონიუმი და ე. წ. ტრანსურანული ჯგუფის სხვა ელემენტები.

როგორც ვთქვით, ურანის რეაქტორში ურანის ყოველი ატომის გახლეჩისას გამოტყორცნილ ორ-სამ ნეიტრონიდან მხოლოდ ერთი ხმარდება ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის გაგრძელებას, ერთდროულად



კი იხლიჩება ურანის ატომების ძალიან დიდი რაოდენობა. ამრიგად, ურანის რეაქტორი წარმოადგენს ნეიტრონების მძლავრ წყაროს, რომელიც გარკვეული მიზნისათვის გამოიყენება, კერძოდ, ახალი ელემენტებისა და სხვადასხვა სახის იზოტოპების მისაღებად.

გარდა ნეიტრონებისა, რეაქტორის მუშაობის დროს განუწყვეტლივ წარმოიშობა გამა-სხივები. როგორც ნეიტრონები, ისე გამა-სხივები ძალიან შემღწვევადია და მეტად საზიანოა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის. მაგრამ მათ მკვეთრ მოქმედებას ბოჭავს საიმედო ბიოლოგიური დაცვა — რეაქტორის გარშემო ერთი მეტრი სისქის წყლის ფენა და სამი მეტრი სისქის მძიმე რკინაბეტონის კედელი. რეაქტორის ზედა ნაწილში

ნახ. 27. ატომბირთვის ვახლეჩის ტემპერატურა.

დაცვა უზრუნველყოფილია გრაფიტის ამრეკლების გაძლიერებით, ზედა ფოლადის ხუფით და თუჩის სქელი ფილით.

სპეციალური კონსტრუქციისა და სპეციალური ფილტრებიანი მძლავრი სავენტილაციო სისტემით კი უზრუნველყოფილია რეაქტორის სავენტილაციო მილიდან ამომავალი ჰაერის გაწმენდა რადიოაქტიური მინარევებისაგან.

საკიროა აღინიშნოს, რომ ატომბირთვში 10 მე ე ენერჯის მქონე ნაწილაკის შეჭრისას ატომბირთვის ტემპერატურა 10—15 მილიარდ გრადუსამდე აღწევს (ნახ. 27).

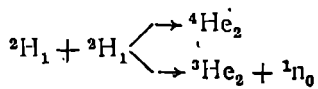
8. თერმობირთვული რეაქციები. ატომბირთვული ენერჯიის განთავისუფლების მეორე გზას წარმოადგენს მჩატე ატომბირთვებიდან შედარებით უფრო მძიმე ატომბირთვების მიღების გზა, მაგალითად. წყალბადის ატომბირთვებიდან (პროტონებიდან) ჰელიუმის ბირთვის მიღება. წყალბადის ატომბირთვებიდან ჰელიუმის ბირთვის მიღების ბირთვული რეაქცია პირველად აღმოჩენილ იქნა მზეზე. მზის წიაღში, სადაც ტემპერატურა 20 მილიონ გრადუსს აღწევს, განუწყვეტლივ მიმდინარეობს წყალბადის ბირთვების შეერთებით მძიმე წყალბადის (დეიტერიუმის) ატომბირთვების მიღება ბეტა-პოზიტრონული გამოხივებით და მათი ურთიერთმოქმედებით კი ჰელიუმის ატომბირთვების წარმოქმნა.

თერმობირთვული რეაქციები ინტენსიურად მიმდინარეობენ არა მარტო მზის სიღრმეში, სადაც ტემპერატურა 20 მილიონ გრადუსს აღწევს, არამედ მთელ რიგ ცხელ ვარსკვლავებშიაც. ამ შეხედულების თანახმად, მზე და სხვა ცხელი ვარსკვლავები წარმოადგენენ მუდმივ მოქმედ ატომურ რეაქტორს, სადაც თერმობირთვული რეაქციები განუწყვეტლივ მიმდინარეობს. ასეთი მეტისმეტად მაღალი ტემპერატურა (უდიდესი ენერჯია) საკიროა იმისათვის, რომ მორეაგირე პროტონები (დადებითად დამუხტული ნაწილაკები) მიუახლოვდნენ ერთმანეთს 10⁻¹³ სმ მანძილზე (ატომბირთვული მიზიდულობის ძალების მოქმედების არე), რა დროსაც ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალებს გადააჭარბებს ატომბირთვული მიზიდულობის ძალები და განხორციელდება თერმობირთვული რეაქცია.

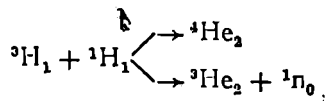
პროტონების შეერთებით მძიმე წყალბადის მიღება და შემდეგ მძიმე წყალბადების ურთიერთმოქმედებით ჰელიუმის ბირთვის წარმოქმნა 20 მილიონი გრადუსი ტემპერატურის პირობებშიაც ნელა მიმდინარეობს, რის გამოც მზე და სხვა ცხელი ვარსკვლავები მილიარდი წლების მანძილზე ასხივებენ ენერჯიას.

ლაბორატორიულ პირობებში მუხტიან ნაწილაკებს (ატომბირთვებს) შეიძლება მივანიჭოთ მაღალი კინეტიკური ენერგია სპეციალური ამაჩქარებელი დანადგარების საშუალებით და განვახორციელოთ თერმობირთვული რეაქციები. ამ გზით იქნა განხორციელებული ქვემოთ მოყვანილი და მრავალი სხვა რეაქცია, რომლებიც მიმდინარეობენ დიდი რაოდენობის ენერგიის გამოყოფით.

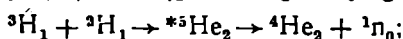
1) მძიმე წყალბადის ბირთვების — დეიტერიუმების დეიტერიუმებით ბომბარდირების შედეგად ჰელიუმის მიღების ბირთვული რეაქცია:



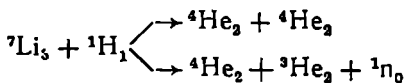
2) ტრიტიუმის სწრაფი პროტონებით ბომბარდირების შედეგად ჰელიუმის მიღების ბირთვული რეაქციის რამდენიმე წამი სჭირდება:



3) დეიტერიუმისა და ტრიტიუმის ურთიერთმოქმედების შედეგად ჰელიუმის ბირთვის წარმოქმნა ძალიან სწრაფად მიმდინარეობს და აგრეთვე დიდი რაოდენობით გამოიყოფა ენერგია:



4) ლითიუმის ბირთვის სწრაფი პროტონებით ბომბარდირების შედეგად მიიღება აგრეთვე ჰელიუმის ბირთვები:



ეს რეაქციები ძალიან ინტენსიურად მიმდინარეობს მილიონობით გრადუსი ტემპერატურის პირობებში.

ცნობილია, რომ პლუტონიუმის ბომბი აფეთქების მომენტში რამდენიმე მილიონ გრადუს ტემპერატურას იძლევა, რომელიც საჭიროა განხილული ბირთვული რეაქციების ფართო მასშტაბით განხორციელებისათვის. სწორედ ამ პრინციპზეა აგებული წყალბადის ბომბი. ამჟამად შექმნილია ისეთი ატომური ბომბებიც, რომლებშიც ატომბირთვულ „საწვავად“ გამოყენებულია ბუნებრივი ურანი, რომელსაც სა-

ფუძვლად უდევს თერმობირთვული რეაქციის შედეგად მიღებული უდიდესი ენერჯიის მქონე ნეიტრონების მოქმედებით მიმდინარე ფეთქებადი ქაქვეური ბირთვული რეაქციის განხორციელება.

ასეთი ტიპის ბომბებში ურან-238 გახლეჩისათვის გამოიყენება როგორც ურან-235-ის გახლეჩისას გამოყოფილი სწრაფი ნეიტრონები, ისე წყალბადის იზოტოპების თერმობირთვული რეაქციის შედეგად მიღებული უდიდესი ენერჯიის მქონე ნეიტრონები.

ჩვენში, საბჭოთა კავშირში, როგორც ქაქვეური ბირთვული რეაქციების, ისე თერმობირთვული რეაქციების მშვიდობიანი მიზნისათვის გამოყენება თანამედროვე ფიზიკისა და ქიმიის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა.

ატომური იარაღი

1. ატომური იარაღის კლასიფიკაცია. ამჟამად ყველაზე დამანგრეველი და გამანადგურებელი მოქმედების იარაღად ითვლება ატომური იარაღი. ატომური იარაღი ეწოდება ისეთ იარაღს, რომლის მოქმედება დამყარებულია ატომბირთვული გარდაქმნების დროს ზეუდიდესი ენერჯიის განთავისუფლებაზე — შიდაატომბირთვული ზეუდიდესი ენერჯიის გამოყენებაზე.

ამჟამად არსებობს ფეთქებადი მოქმედების ატომური იარაღის სამი ძირითადი სახეობა, რომლებიც განირჩევიან აფეთქების დროს მიმდინარე ატომბირთვული რეაქციის ხასიათითა და სიმძლავრით.

ბომბებს, ალქურვილთ ურან-235 და ურან-234 ან პლუტონიუმ-239 იზოტოპებით, ატომური ბომბები ეწოდებათ; ბომბებს, ალქურვილთ ლითიუმის ჰიდრიდით, დეიტერონ-ლითიუმით, ტრიფიუმ-ლითიუმით და წყალბადის იზოტოპებით, თერმობირთვული წყალბადის ბომბები ეწოდებათ; ბომბებს, ალქურვილთ ურან-238, ურან-235, ურან-234 და წყალბადის იზოტოპებით, ატომური თერმობირთვული, ანუ სამფაზიანი ბომბები ეწოდებათ.

ატომური ბომბები შეიძლება იყოს 1-დან 500-მდე კილოტონა (ათასი ტონა), ხოლო თერმობირთვული კი 1—100 მეგატონა (მილიონი ტონა) ჩვეულებრივი ფეთქებადი ნივთიერების, ტროტილის აფეთქების სიმძლავრის თანაბარი (ტროტილის ეკვივალენტი).

ატომბირთვის აფეთქებისას მყისვე გამოიყოფა ზეუდიდესი ენერჯია, რის შედეგად აფეთქების ქაქვეურბირთვულ რეაქციის ზონაში ვითარდება ათობით მილიონ გრადუსი ტემპერატურა, რაც წარმოშობს დამაბრმავებელ კაშკაშა ნათებას, ხოლო წნევის მკვეთრი აწევა მილი-

არდ ატმოსფერულ წნევამდე წარმოქმნის ჰაერის ძლიერი შეკუმშვის არეს, რაც აფეთქების ცენტრიდან ვრცელდება ყველა მიმართულებით და წარმოადგენს ძლიერი დაკვრითი ტალღის წარმოშობის მიზეზს.

გარდა ამისა, ფეთქებად ჯაჭვიურ ბირთვულ რეაქციას თან ახლავს ნეიტრონების ნაკადი და გამა-გამოსხივება, და აგრეთვე ატომბირთვული ნახლეჩები, რომელთა გარდაქმნის შედეგად ბეტა-ნაწილაკებისა და გამა-სხივების გამომსხივებელი 200-მდე რადიოაქტიური იზოტოპი წარმოიქმნება, მას ემატება ნეიტრონთა ნაკადის ზემოქმედებით წარმოშობილი ზელოვანური რადიოაქტიური იზოტოპები — გამოწვეული რადიოაქტიურობა და ურანისა და პლატონიუმის გაუხლეჩავად დარჩენილი ატომბირთვები, ალფა-ნაწილაკების გამომსხივებელი.

ამრიგად, ატომური აფეთქების შედეგად წარმოიქმნება შემდეგი დამაზიანებელი ფაქტორები:

ა) დაკვრითი ტალღა, რომელიც იწვევს ნგრევას და ადამიანთა დაზიანებას. მისი მოქმედება გრძელდება 1—2 წუთს;

ბ) სინათლის გამოსხივება, რომელიც იწვევს სიღამწვრეს და აჩენს ხანძარს: სინათლის გამოსხივების მოქმედება გრძელდება 8—15 წამს;

გ) შეღწევადი რადიაცია — გამა-სხივები და ნეიტრონების ნაკადი, რომლებიც იწვევენ ადამიანებისა და ცხოველების დაზიანებას. შეღწევადი რადიაციის მოქმედება კი—10—12 წამს;

დ) ადგილმდებარეობის რადიოაქტიური მოწამვლა, რომელსაც იწვევს ატომბირთვული ნახლეჩები და მათი გარდაქმნის ბეტა- და გამა-გამომსხივებელი რადიოაქტიური პროდუქტები, ურანისა და პლუტონიუმის გაუხლეჩავად დარჩენილი ატომბირთვები — ალფა-ნაწილაკების გამომსხივებელი და გარემო არის ატომბირთვების ნეიტრონების ნაკადის ბომბარდირების შედეგად გამოწვეული რადიოაქტიურობა (Наведенная радиоактивность). ესენი იწვევენ ჰაერის, ადგილმდებარეობის, საკვები პროდუქტების, ალაფნის (ფურაჟის), წყლისა და სხვათა რადიოაქტიურ მოწამვლას და დაუცველი ადამიანებისა და ცხოველების მძიმე დაზიანებას არა მარტო აფეთქების რაიონში, არაჟედ შორს, მის საზღვრებს გარეთაც, რადგან რადიოაქტიურ ღრუბელს (ატომური აფეთქების შედეგად წარმოქმნილ ღრუბელს) ქარის მიმართულებით ასეულ და ათასეულ კილომეტრზეც შეუძლია გადაადგილება. ღრუბლის მოძრაობის გზაზე რადიოაქტიური ნივთიერებები თანდათანობით ილექება, რის შედეგად ზდება ვრცელი ტერიტორიის — ათობით კილომეტრის სიგანისა და ასობით და ათასობით კილომეტრის სიგრძის მქონე ტერიტორიის და მასზე არსებული საგნების რადიოაქტიური დასნებოვნება. ასე, მაგალითად, 15 მეგატონის სიმძლავ-

რის თერმობირთვული ბომბის აფეთქებისას ეპიცენტრიდან (აფეთქების ცენტრის გეგმილი მიწის ზედაპირზე) 290 კმ-ით დაშორებულ, გაშლილ ადგილზე დაუცველად დარჩენილი ადამიანი მიიღებს დოზას 500 რენტგენ/საათს, რაც 70 — 80%-ით მომაკვდინებელი დოზაა (ენერგიის რაოდენობას, შთანთქმულს დასხივებული სხეულის ერთეული მასის ან ერთეული მოცულობის მიერ, ეწოდება დოზა). მაგრამ აფეთქების ეპიცენტრიდან 250—300 კმ-ზე რადიაქტიური მტვრის ჩამოლექვა იწყება აფეთქებიდან 8 საათის შემდეგ. აფეთქების მომენტში გარეთ დარჩენილი ადამიანი დროის ამ მონაკვეთში უდაოდ ასწრებს თავშესაფარში თავშეფარებას, რითაც აიცდენს საშიშროებას. ამავე დროს ატომური აფეთქების დამაზიანებელი ფაქტორების მოქმედების ხანგრძლივობა, როგორც აღვნიშნეთ, სხვადასხვაა: დაკერიტი ტალღის მოქმედება გრძელდება 1—2 წუთს, სინათლის გამოსხივება 8—15 წამს; შეღწევადი რადიაცია 10—12 წამს, ადგილმდებარეობის რადიაქტიური დასნებოვნების რაიონი კი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში საშიშია ადამიანებისა და ცხოველებისათვის.¹

აქვე აღსანიშნავია ისიც, რომ ადამიანისა და ცხოველის ორგანიზმი განიცდიდა და განიცდის აგრეთვე ბუნებრივი წყაროებიდან გამოსხივებულ მაიონიზებული გამოსხივების (რადიაციის) ზემოქმედებას, კერძოდ კოსმოსურს სხივების, დედამიწის ქერქში, რადიაქტიურ წყლებსა და ატმოსფეროში არსებული რადიაქტიური ნივთიერებებისა და აირების მაიონიზებელ ზემოქმედებას.

პირველადი კოსმოსური სხივები ძირითადად დადებით მუხტიანი ნაწილაკებისაგან შედგება, სახელდობრ: პროტონებისაგან, ნაკლები რაოდენობით ალფა-ნაწილაკებისაგან, გამა-სხივებისაგან, და მცირე რაოდენობით ზოგიერთი ელემენტის ატომბირთვებისაგან. როდესაც პირველადი კოსმოსური ნაწილაკები ჰაერში მყოფი ელემენტების ატომბირთვებს ეჯახება, წარმოიქმნება მეორადი კოსმოსური სხივები—მეორადი ფოტონები, ნეიტრონები და მეზონები. ესენიც, თავიანთ მხრივ, ატმოსფეროში მყოფ ატომბირთვებთან ახალი დაჯახებისა და დაშლის შედეგად წარმოქმნიან დამატებით მეორად ნაწილაკებს, რის შედეგად დედამიწის ზედაპირთან ახლოს კოსმოსური სხივებიდან ძირითადად გვხვდება პროტონები, ნეიტრონები, მეზონები, ელექტრონები და ფოტონები, რომელთა მცირე ნაწილი ზღვის დონემდეც აღწევს და იწვევს რადიაქტივობის ამაღლებას. კოსმოსური ნაწილაკე-

¹ არამიწიერი წარმოშობის (ანუ სამყაროში—კოსმოსში წარმოშობილ) სხივებს კოსმოსური სხივები ეწოდებათ.

ბი ჰაერში მყოფ ელემენტებთან შეჯახებისას წარმოქმნის აგრეთვე რადიოაქტიურ ნახშირბადს ($^{14}\text{C}_6$) და ტრიტიუმს ($^3\text{H}_1$).

დედამიწის ქერქი შეიცავს რადიოაქტიურ ნივთიერებათა ერთ-გვარ რაოდენობას. ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებიდან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თორიუმის, ურან-რადიუმის, აქტინოურანის მწკრივი, და კალიუმის იზოტოპი ($^{40}\text{K}_{19}$).

რადიუმი, თორიუმი და აქტინიუმი განუწყვეტლივ გამოყოფენ რადიოაქტიურ აირებს: თორონს, რადონს და აქტინონს. ეს ემანაციები იწვევენ აგრეთვე ატმოსფეროს ქვედა ფენების რადიოაქტიუობის ამალუბას. ყოველივე ეს ქმნის რადიაციის ბუნებრივ ფონს¹. ბუნებრივი მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედების მნიშვნელობა საბოლოოდ დადგენილი არ არის და მეტად საინტერესოა, მაგრამ ნათელია ის, რომ სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში: მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში, მედიცინაში, მეცნიერებაში და ა. შ. რადიოაქტიური იზოტოპების სულ უფრო და უფრო ფართოდ გამოყენება და განსაკუთრებით ატომურ აფეთქებათა და საბრძოლო რადიოაქტიური ნივთიერებების ხარჯზე ბუნებრივი ფონის გაზრდა, არ შეიძლება უყურადღებოდ დაეტოვოთ.

ამრიგად, როგორც მშვიდობიან, ისე ომიანობის პირობებში ადამიანმა შეიძლება განიცადოს ალფა-, ბეტა-ნაწილაკების, გამა-სხივებისა და ნეიტრონების ნაკადის ზემოქმედება. მთიი ზემოქმედება შეიძლება გამოწვეული იყოს როგორც გარეგანი, ისე შინაგანი შემოსხივებით. გარეგანი ეწოდება ისეთ შემოსხივებას, რომლის დროსაც რადიოაქტიური გამოსხივება ადამიანზე ზემოქმედებას გარედან ახდენს, ასეთ ზემოქმედებას ადამიანი განიცდის მაშინ, როდესაც იგი იმყოფება ატომური აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი შეღწევადი რადიაციის ზონაში, რადიოაქტიური ნივთიერებებით მოწამლულ ტერიტორიაზე და საერთოდ რადიოაქტიური გამოსხივების არეში. შინაგან შემოსხივებას ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც რადიოაქტიური იზოტოპები ხედებიან ორგანიზმში მოწამლული ჰაერის შესუნთქვისას; მოწამლულ საკვებთან და წყალთან ერთად, ქრილობათა და სიღამწერის ზედაპირიდან, ლორწოვანი გარსებიდან შეწოვის გზით და ა. შ.

რადიოაქტიური იზოტოპები უფრო საშიშია ორგანიზმში შიგნით მოჭედრისას, რადგან ამ დროს გამოსხივების შემასუსტებელი ბარიერი გადალახულია და ყოველგვარი სახის გამოსხივება შეუფერხებლად

¹ რადიაციის ბუნებრივი ფონი ეწოდება ბუნებაში არსებულ რადიოაქტიურ ნივთიერებთა და კოსმოსური სხივებით (მაღალი ენერჯიის გამოსხივებით) წარმოქმნილ მაიონიზებელ გამოსხივებას.

იწვევს სხვადასხვა სახის ქსოვილებისა და ორგანოების მოლეკულების იონიზაციას და აგზნებას. ამის შედეგად ირღვევა ორგანიზმის ნორმალური ცხოველმოქმედება, ჩნდება ავადმყოფობა, რომელსაც ეწოდება სხივური დაავადება. აქვე აღსანიშნავია ისიც, რომ ბევრ რადიაქტიურ იზოტოპს ორგანიზმში ხანგრძლივი დროით დაყოვნების უნარი გააჩნია და ხანგრძლივადც შემოასხივებს მას. ასეთსავე დაზიანებას იწვევს რადიაქტიური გამოსხივება გარეგანი შემოსხივების დროსაც. მაგრამ არა ყველა სახის გამოსხივება შეაღწევს ორგანიზმში. ამასთან რადიაქტიური გამოსხივების ზონიდან გამოსვლის შემდეგ მათი ზემოქმედება წყდება.

**რადიაქტიურ გამოსხივებათა აღმოჩენისა და
განსაზღვრის მეთოდები¹**

რადიაქტიურ გამოსხივებათა აღმოჩენა და განსაზღვრა წარმოებს იმ ეფექტის მიხედვით, რომელსაც ვლებულობთ ამ სხივების ნივთიერებებთან ურთიერთმოქმედების შედეგად. 'სხვა მხრივ მათი აღმოჩენა შეუძლებელია, რადგან ისინი უხილავი არიან და არც ადამიანის გრძნობის ორგანოებით შეიგრძნობიან. აღნიშნულ მეთოდებს მიეკუთვნება: იონიზაციური, ფოტოგრაფიული, სცინტილაციური, ქიმიური, კოლორიმეტრული და სხვა მეთოდები. აქ განვიხილავთ მხოლოდ იონიზაციურ მეთოდს.

1. იონიზაციური მეთოდის საფუძველი. იონიზაციურმა მეთოდმა ყველაზე ფართო გამოყენება პოვა პრაქტიკაში. როგორც ცნობილია, აირი ჩვეულებრივ პირობებში ელექტროდენს არ ატარებს. აირი ელექტროდენს ატარებს მხოლოდ რომელიმე გარეგანი იონიზატორის (α-, β- და γ-გამოსხივებათა და სხვ.) მოქმედებით, რის შედეგად წარმოიქმნება იონები და თავისუფალი ელექტრონები. ეს უკანასკნელნი ითვლებიან აირში ელექტროდენის გადამტან აგენტებად. ისინი ქაოტიურად მოძრაობენ, მაგრამ თუ იონიზირებული აირი მოექცა ელექტრულ ველში, მაშინ დადებითი იონები იმოძრავენ უარყოფითი ელექტროდისაკენ, ხოლო უარყოფითი კი — დადებითი ელექტროდისაკენ. ამრიგად, აირში წარმოიქმნება იონური დენი, ანუ ელექტრული იმპულსები, რომლებიც სათანადო გაძლიერების შემდეგ შეიძლება აღრიცხულ იქნენ ელექტრული იმპულსების აღმრიცხველ ხელსაწყო-

¹ რადიაქტიურ გამოსხივებათა აღმოჩენისა და განსაზღვრის მეთოდები და დოზიმეტრული ხელსაწყოები ვრცლად არის განხილული წინამდებარე წიგნის პირველ გამოცემაში იხ. ა. კ ა ლ ა ნ დ ი ა, რადიოქიმიისა და დოზიმეტრიის საფუძველები, თბილისი, 1964 წ., გვ. 138—338.

ბიზ: ელექტრომეტრებით, დოზიმეტრული ხელსაწყოებით და ასე შემდეგ.

დოზიმეტრული ხელსაწყოების ძირითად ნაწილს საიონიზაციო კამერები და აირმრიცხველები წარმოადგენენ.

საიონიზაციო კამერები და აირმრიცხველები

1. საიონიზაციო კამერა. საიონიზაციო კამერის ფორმა და სიდიდე, თავიანთი დანიშნულების მიხედვით, სხვადასხვაგვარია: სიბრტყეზე პარალელურად განლაგებული ორი ელექტროდის, მაკონცენტრირებული, სფერული და სხვა ფორმისა. ამას გარდა საიონიზაციო კამერები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან გასასვლები აირების შემადგენლობით და ამ აირების წნევის მიხედვით.

საიონიზაციო კამერის ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ ნაირსახეობას ცილინდრული საიონიზაციო კამერა წარმოადგენს (ნახ. 28). კამერის ცილინდრული კორპუსი ლითონის ან დენგამტარი პლასტმასისაგან არის გაკეთებული. ეს უკანასკნელი გარეგან ელექტროდს წარმოადგენს, რომელშიც ჩარჩილულია (ყრუდ ჩასმულია) ლითონის ან გრაფიტის ცენტრალური შემკრები ელექტროდი (ლითონის ან გრაფიტის ღერო). კამერის სამუშაო მოცულობა (კათოდსა და ანოდს შორის არე) გავსებულია მშრალი აირით ან ჰაერით, რომლებიც ელექტროდებს არ ატარებენ. ამრიგად, საიონიზაციო კამერა წარმოადგენს კონდენსატორს¹,

კონდენსატორის შემონაფენებზე (ელექტროდებზე) მოდებულია ბატარეიდან მიღებული ძაბვა (300—400 ვოლტი). გარეგანი ელექტროდი მიერთებულია მუდმივი დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან, ხოლო ცენტრალური შემკრები ელექტროდი კი — დადებით პოლუსთან, ამრიგად, დენგამტარი ცილინდრული კორპუსი წარმოადგენს უარყოფით ელექტროდს, ხოლო ლითონის ღერო — დადებით ელექტროდს.

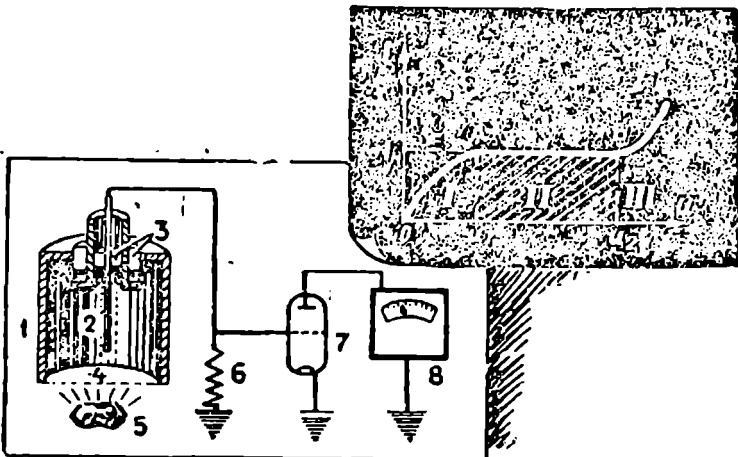
როგორც აღვნიშნეთ, აირი ელექტროდების გაუმტარია. ამიტომ დენის ჩართვის შემთხვევაშიც წრედი არ შეიკვრება, თუ შაიონიზებელი ნაწილაკები არ მოხვდნენ საიონიზაციო კამერის მრკულობაში და არ გამოიწვიეს აირის იონიზაცია. საიონიზაციო კამერაში შაიონიზებელი ნაწილაკების შეღწევისა და იონების წარმოქმნისთანავე საიონიზაციო კამერის ელექტრული ველის გავლენით დადებითი იონები გაემართებიან უარყოფითი ელექტროდისაკენ, ხოლო უარყოფითი იონ-

¹ დიექტრიკით განცალკევებულ ორი გამტარის ერთობლიობას კონდენსატორი ეწოდება, ხოლო თვით ამ გამტარებს—კონდენსატორის შემონაფენები.

ბი დადებითი ელექტროდისაკენ. წარმოიქმნება იონური დენი (ელექტრონიკური დენი), რომელიც ჩვეულებრივად მცირეა. ამიტომ მას აძლიერებენ მილაკიანი გამაძლიერებლებით, რის შემდეგ მისი, გაზომვა შეიძლება მიკროამპერმეტრით, საიონიზაციო კამერის ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ისეა შერჩეული, რომ მაიონიზებული ნაწილაკების მოქმედებით კამერის ჰაერში წარმოქმნილმა ყველა იონმა მიადწიოს ელექტროდებამდე, რეკომბინაციისა და მეორადი იონების წარმოუქმნელად. ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობის შერჩევის ხერხი მოცემულია საიონიზაციო კამერის სქემასთან ვოლტამპერული მახასიათებლის მრუდის სახით (ნახ. 28). მრუდის AB უბანი წარმოადგენს სამუშაო ძაბვის ინტერვალს, რომელშიც იონური დენის ძალა დამოკიდებულია მხოლოდ იონიზატორის ინტენსივობაზე. ასეთ პირობებში კამერის ჰაერში წარმოქმნილი იონური დენის ძალა პროპორციულია კამერაში მოხვედრილი გამოსხივების დოზის სიმძლავრისა.

საიონიზაციო კამერები განკუთვნილია რენტგენომეტრებისა და ინდივიდუალური დოზიმეტრებისათვის.

2. აირმრიცხველი. აირმრიცხველი თხელკედლიანი ლითონის ან მინის ცილინდრია; რომლის ორივე ბოლო ჰერმეტიკულად არის დახმუ-



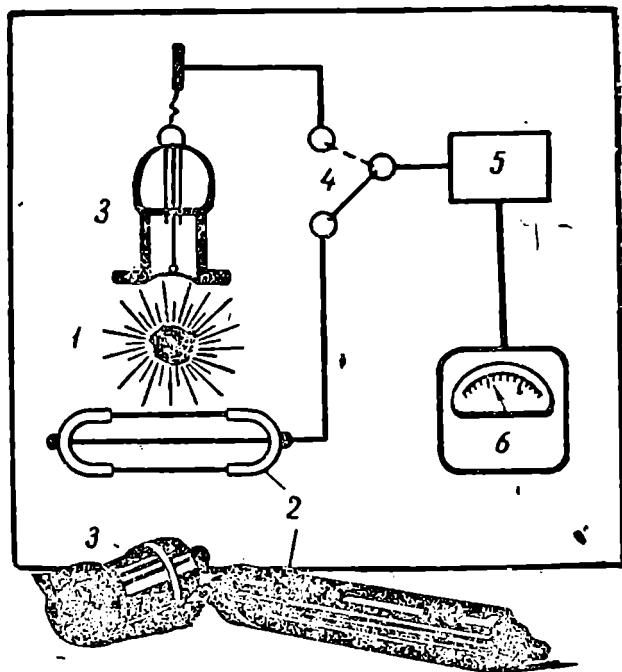
ნახ. 28. საიონიზაციო კამერის შემოაბის სქემა და ვოლტამპერული მახასიათებელი: 1—გარეაინი ელექტროდი, 2—ცენტრალური შემკრები ელექტროდი, 3—იზოლიატორი, 4—საიონიზაციო კამერის ფანქარა, 5—რადიაქტიური წყარო; 6—წინაღობა, 7—მილაკიანი გამაძლიერებელი, 8—მიკროამპერმეტრი.

ლი. მისი ღერძის გასწვრივ გაჭიმულია ლითონის წვრილი ძაფი, რომელიც კორპუსისაგან იზოლირებულია. ძაფი ითვლება დადებით ელექტროდად (ანოდად), ცილინდრი თუ ლითონისაა — უარყოფით ელექტროდად (კათოდად); თუ ცილინდრი მინისაა, მისი კედელი შიგნიდან დაფარულია ლითონის (უფრო ხშირად სპილენძის) თხელი ფენით. მაშინ ეს უქანასკნელი კათოდი. მაშასადამე, აირმრიცხველი წარმოადგენს ცილინდრულ კონდენსატორს. ცილინდრსა და ძაფს შორის არე გავსებულია სუფთა აირებით — არგონით, ნეონით ან სხვა აირით, იგი შეიძლება გავსებული იყოს სუფთა აირებისა და ორგანულ ნივთიერებათა (სპირტის, იზოპენტანის და ა. შ.) ორთქლით. მცირე ენერჯის მქონე ბეტა- და ალფა- გამოსხივების აღსარიცხავად გამოიყენება ტორსული მრიცხველები. ხშირად იყენებენ დიდი ენერჯის მქონე ალფა-, ბეტა- და გამა-გამოსხივებათა აღრიცხვისათვისაც, ტორსული მრიცხველი ცილინდრული მრიცხველისაგან იმით განსხვავდება, რომ მისი ბოლო მოკვეთილია. ამ ბოლოზე გაკეთებული აქვს ფანჯარა ქარსის 0,01 მმ სისქის ფირფიტისაგან ან სხვა მასალისაგან, რომელშიც ადვილად შეაღწევს ზემოაღნიშნული რადიაქტიური ნაწილაკები. მრიცხველ-დანადგარის მუშაობის სქემა, ცილინდრული და ტორსული მრიცხველების კონსტრუქცია მოცემულია ნახ. 29-ზე.

აირმრიცხველების მუშაობის პრინციპი საიონიზაციო კამერის მუშაობის პრინციპის ანალოგიურია, იმ განსხვავებით, რომ აირმრიცხველების ელექტროდებზე მოდებულია ძალიან მაღალი ძაბვა, რაც აირმრიცხველის კედელსა (კათოდს) და ძაფს (ანოდს) შორის ქმნის მაღალ პოტენციალთა სხვაობას. ასეთ პირობებში აირმრიცხველის მოცულობაში მოხვედრილი რადიაქტიური ნაწილაკებისა და გამა-კვანტების მოქმედებით წარმოქმნილი იონები აირმრიცხველის ელექტროდებისაკენ მოძრაობისას ისევე სიჩქარეს ღებულობენ, რაც საკმარისია აირის ნეიტრალური ატომების ან მოლეკულების ბიძგიით — მეორადი იონიზაციისათვის და იწვევს გზაზე შემხვედრი ნეიტრალური ატომებისა და მოლეკულების იონიზაციას; ეს უქანასკნელნი (მეორადი იონები) თავიანთ მხრივ იწვევენ იონიზაციას ახალ-ახალი იონების წარმოქმნით და ა. შ. დაახლოებით ერთი მემილიონედი წამის განმავლობაში ყველა იონი აღწევს ელექტროდებამდე. ამავე დროის ყოველი რადიაქტიური ნაწილაკი (ალფა-, ბეტა- და სხვ.) და ყოველი გამა-კვანტი წარმოქმნიან იონების დიდ რაოდენობას, რომლებიც იონური დენის იმპულსებს იძლევა. დროის ერთეულში წარმოქმნილი იონური დენის იმპულსები მით მეტია, რაც მეტია ამავე დროის ერთეულში აირმრიცხველის შიგნით მოხვედრილი

რადიაქტიური ნაწილაკები და გამა-კვანტები. მაშასადამე, იონური დენის იმპულსების აღრიცხვით შეიძლება რადიაქტიური ნაწილაკებისა და გამა-კვანტების დოზის სიმძლავრის გაზომვა.

აქვე აღსანიშნავია, რომ განმუხტვის შეწყვეტის ხერხის მიხედვით, აირმრიცხველები იყოფა ორ ჯგუფად — თვითჩაქრობადი და არა-



ნახ. 29. მრიცხველ-დანადგარის მუშაობის სქემა და აირმრიცხველების გარეგანი შესახედაობა:

1—რადიაქტიური წყარო, 2—ცილინდრული მრიცხველი, 3—ტორსული მრიცხველი, 4—გადამრ ველი, 5—გამამძიერებელი, 6—საზომი ხელსაწყო, ანუ გამოსხივების რეგისტრატორი.

თვითჩაქრობადი. თვითჩაქრობადი მრიცხველები ძირითადად ერთ-ატომიანი აირის (80%) (არგონის, ჰელიუმის ან ნეონის და ა. შ.) და განმუხტვის ჩაქრობის (გაწყვეტის) უზრუნველსაყოფად მრავალატომიანი აირის (ბორფტომიდის, იზოპენტანის, ეთილენის, სპირტის ორთქლის ან სხვ.) მცირე რაოდენობის (10%) მინარევით არის გავსებული. ამ უკანასკნელის მცირედი მინარევის არსებობით არის უზრუნ-

ექსპოზიციური განმუხტვის მხოლოდ თითო აფეთქებით შეზღუდვა (ჩაქრობა). ამრიგად, ასეთ მრიცხველებში განმუხტვის ჩაქრობა თავისთავად — შინაგანი მიზეზით მიმდინარეობს და არ საჭიროებს გარე წრედის სპეციალურ მოწყობილობას ან მაღალმომიან წინაღობას. ამიტომ ასეთ აირმრიცხველებს თვითჩაქრობადი ეწოდებათ. ხოლო არათვითჩაქრობადი აირმრიცხველების განმუხტვის შეწყვეტისათვის (ჩაქრობისათვის) საჭიროა მრიცხველის ანოდურ წრედში თანმიმდევრობით მაღალმომური (-10^9 ომი) წინაღობის ჩართვა. აირმრიცხველები იყოფა სამ ჯგუფად: გვირგვინული (коронный), იმპულსური (импульсовый) ტორსული (торцовый), აირმრიცხველები ცალკეული მაიონიზებელი ნაწილაკების აღრიცხვის საშუალებასაც იძლევა.

1. ალფა-გამოსხივების გაზომვისათვის გამოიყენება შემდეგი ტიპის ტორსული მრიცხველები: САТ - 7, САТ - 8, АТС - 9, САТ - 10 და САТ - 11.

2. ბეტა-გამოსხივების გაზომვისათვის გამოიყენება შემდეგი ტიპის ტორსული მრიცხველები: СБТ - 7, СБТ - 9, СБТ - 10, СБТ - 11, СБТ - 13, СБТ - 14, СБТ - 15, СБТ - 16, СИ - 2Б, СИ - 3Б, СИ - 5Б, МСТ - 17, Т - 25 - БФЛ; აირმრიცხველები ფოლადის კათოდით СТС - 5, СТС - 6, СИ - 9БГ და СБМ - 10 და მცირე აქტივობისა და რბილი ბეტა-გამოსხივების გაზომვისათვის გამოიყენება СОР - 25 - БФЛ ტიპის აირმრიცხველი.

3. გამა-გამოსხივების გაზომვისათვის გამოიყენება ვოლფრამის კათოდის იმპულსური ВС ტიპის აირმრიცხველი და სპილენძის კათოდის იმპულსური МС ტიპის აირმრიცხველი და შემდეგი ტიპის იმპულსური მრიცხველები: СИ - 4Г, СИ - 5Г, СИ - 6Г, СИ - 7Г, СИ - 11Г, СИ - 13Г, СИ - 19Г, СИ - 20Г, СИ - 21Г, СИ - 22Г, СИ - 25Г, СГС - 6 და СГС - 8. ამათ გარდა გამა-გამოსხივების გაზომვისათვის გამოიყენება აგრეთვე შემდეგი ტიპის ტორსული მრიცხველები: СИ - 1БГ, СИ - 3БГ, СИ - 10БГ, СИ - 11БГ და СИ - 24БГ.

4. ნეიტრონების ნაკადის გაზომვისათვის გამოიყენება შემდეგი ტიპის პროპორციული ბორით გაცხებული აირმრიცხველები: СНМ - 3, СНМ - 5, СНМ - 8 და СНМ - 20 და გვირგვინული აირმრიცხველები, რომელთა კათოდი დაფარულია ბორით. ასეთებია: СНМ - 9, СНМ - 10, СНМ - 11, СНМ - 12, და СНМ - 13 და СНМ - 14.

ჩამოთვლილი აირმრიცხველები ჩაირთვება შესაბამის რადიომეტრებში, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაიონიზებელ გამოსხივებიდან მიღებულ იმპულსების აღრიცხვას.

დოზიმეტრული ხელსაწყოები¹

დოზიმეტრულ ხელსაწყოებში იგულისხმება ყველა ტიპის რენტგენომეტრი და რადიომეტრი, მათ შორის ინდივიდუალური და ჯგუფური დოზიმეტრებიც.

1. რენტგენომეტრები. რენტგენომეტრები (ДП-2, ДП-3 და აშ.) განკუთვნილია რადიაციის დონის (დოზის სიმძლავრის) გაზომვისათვის. ამავე მიზნისათვის გამოიყენება აგრეთვე რადიომეტრ-რენტგენომეტრი ДП-5А.

2. ბეტა-გამა რადიომეტრები. ბეტა-გამა რადიომეტრები (ДП-11Б, ДП-12 და ა. შ.) განკუთვნილია 'სხვადასხვა' ობიექტებისა და საგნების ზედაპირზე რადიაციული მოწამვლის ხარისხის განსასაზღვრავად (შესამოწმებლად). ამავე მიზნისათვის გამოიყენება აგრეთვე რენტგენომეტრ-რადიომეტრი ДП-5А.

3. ინდივიდუალური და ჯგუფური დოზიმეტრები. ინდივიდუალური დოზიმეტრები (ДП-22-В, ДП-23, ДП-24, ДК-0,2, КИД-1 და ა. შ.) და ჯგუფური დოზიმეტრები (ПМР-1, СУ-1, РМ-1-М და ა. შ.) განკუთვნილია ჯამური (სუმარული) დოზის გაზომვისათვის, ე. ი. განსაზღვრული დროის შუალედში რადიოაქტიურ გამოსხივებათა სფეროში მომუშავე ადამიანების მიერ მიღებული დოზის გაზომვისათვის. ამავე მიზნისათვის გამოიყენება აგრეთვე ქიმიური დოზიმეტრი ДП-70.

4. რადიომეტრები. რადიომეტრები (Б-3, Б-4, ДП-100, ДП-100-АД-М, ПП-9 და ა.) გამოიყენებიან რადიოაქტიური იზო-

¹ აქ განხილულია მხოლოდ ზოგიერთი დოზიმეტრული ხელსაწყო. ვრცლად განხილულია პირველ გამოცემაში; იხ. ა. კალანდია, რადიოქიმიისა და დოზიმეტრიის საფუძვლები, აგრეთვე ა. კალანდია, დოზიმეტრული, ქიმიური დაწვერვისა და დოზიმეტრული კონტროლის ხელსაწყოები, ცხინვალი, 1971 წ.

ტოპებით მოწამლული წყლის, საკვები პროდუქტების, ალაფანის (ფუ-რაჟი) და სხვათა სინჯების მოწამვლის ხარისხის განსაზღვრისათვის.

საველი რენტგენომეტრები

1. საველე რენტგენომეტრი ДП-3. ისე როგორც ДП-2, რენტგენომეტრი ДП-3 განკუთვნილია გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრის გასაზომად. მას აყენებენ ჯავშანტრანსპორტიორში, ტანკში, ავტომობილში ან ვერტმფრენში და იქიდან აწარმოებენ რადიაციის დოზის სიმძლავრის განსაზღვრას (ნახ. 30).

რენტგენომეტრი ДП-3 გვაძლევს საშუალებას გავზომოთ გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრე (0,1-დან 500 რენტგენამდე) საათში.

გაზომვის დიაპაზონი დაყოფილია 4 ქვედიაპაზონად:

პირველი ქვედიაპაზონი 0,1—1 რენტგენი/საათი;

მეორე ქვედიაპაზონი 1—10 რენტგენი/საათი;

მესამე ქვედიაპაზონი 10—100 რენტგენი/საათი;

მეოთხე ქვედიაპაზონი 50—500 რენტგენი/საათი.

რენტგენომეტრი ДП-3-ის კვება წარმოებს ბორტული ქსელიდან მიწოდებული მუდმივი დენით.

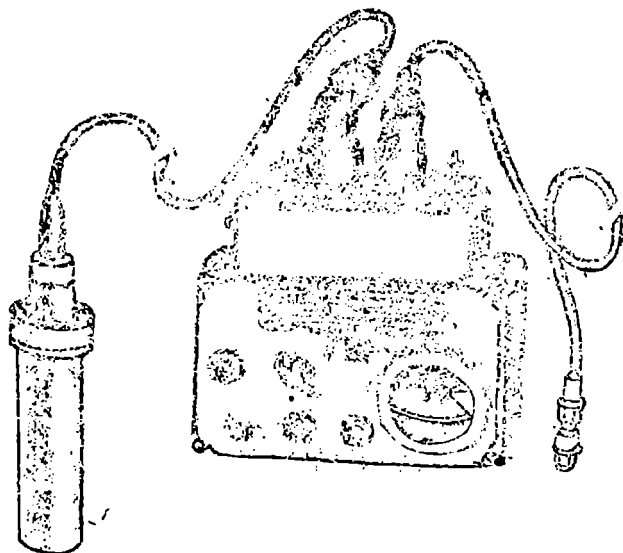
რენტგენომეტრი ДП-3 შედგება შემდეგი ძირითადი ბლოკებისაგან: გადამთვლელი პულტისაგან, გამოტანილი ბლოკისაგან, შესაერთებელი კაბელისა და სამაგრი კავისაგან.

გადამთვლელ პულტს აყენებენ ჯავშანტრანსპორტიორში, ტანკში, ავტომობილში ან ვერტმფრენში, ხოლო გამოტანილ ბლოკს (აირმრიცხველიან ზონდს) ათავსებენ გარეთ; ეს უკანასკნელი პულტთან კაბელით არის მიერთებული.

გამოტანილი ზონდის აირმრიცხველის სამუშაო მოცულობაში გამა-გამოსხივების შეღწევა იწვევს აირის იონიზაციას. იონიზირებული აირი აირმრიცხველის ელექტროდების ელექტრული ველის გავლენით წარმოქმნის იონურ დენს, რაც მიკროამპერმეტრის ისრის გადახრას გამოიწვევს. ამავე დროს ინთება ნეონის ნათურაც. მიკროამპერმეტრის სკალა გრადუირებულია რენტგენ/საათებში: მიკროამპერმეტრის ისრის გადახრა აირმრიცხველის სამუშაო მოცულობაში შეღწეული გამა-კვანტების რაოდენობის პირდაპირ პროპორციულია. პირველი, მეორე და მესამე ქვედიაპაზონებით მუშაობის დროს ანათვალს ავილებთ მიკროამპერმეტრის ზედა სკალიდან რენტგენ/საათებში, ხოლო მეოთხე ქვედიაპაზონით მუშაობისას—ქვედა სკალიდან რენტგენ/საათებში.

რენტგენომეტრი ДП-3-ით მუშაობის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ მანქანის კორპუსში გავლის შედეგად გამა-გამოსხივე-

ბრს შესუსტების კოეფიციენტი. ავტომატური სისტემის იგი უდრის 2; ჯავშანტრანსპორტიორისათვის—4; ტანკისათვის—10. ვერტმფრინავიდან გაზომვის შესუსტების კოეფიციენტი ფრენის ჰერის სიმაღლეზეა



ნახ. 30. რენტგენომეტრი ДП-3.

დამოკიდებული და მის მიხედვით ანგარიშობენ. ამრიგად, რენტგენომეტრით მიღებული დოზის სიმძლავრე უნდა გავამრავლოთ შესუსტების კოეფიციენტზე და მივიღებთ საძიებო რადიაციის დონეს (დოზის სიმძლავრეს).

არსებობს რენტგენომეტრი ДП-3-Б, რომლის დანიშნულება და მუშაობა განხილული ДП-3 რენტგენომეტრის ანალოგიურია.

2. საველე რადიომეტრ-რენტგენომეტრი ДП-5-А განკუთვნილია გამა-გამოსხივების აღმოჩენისა და გამა-გამოსხივების რადიაციის დონის (დოზის სიმძლავრის) გასაზომად; იგი გამოიყენება აგრეთვე გამა-გამომსხივებელ რადიოაქტიურ ნივთიერებებით მოწამლული სხვადასხვა ობიექტის რადიოაქტიური მოწამვლის ხარისხის გამოსაკვლევად გამა-გამოსხივების მიხედვით.

გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრე იზომება მილირენტგენ-საათებში ან რენტგენ-საათებში, არეს იმ წერტილისათვის, სადაც მოთავსებული იქნება ზონდის თავი.

გაზომვის დიაპაზონია 0,05 მილირენტგენ/საათიდან 200 რენტგენ/საათამდე. გაზომვის დიაპაზონი დაყოფილია 6 ქვედიაპაზონად (ცხრ. 4).

ცხრილი 4

ქვედიაპაზონები	ქვედიაპაზონების გამათვლელის მდგომარეობა	ხელსაწყოების სკალა	გაზომვის ერთეული	გაზომვის ქვედიაპაზონები
I	200	0—20	რენტგენ/საათი	5—200
II	X 1000	0—5	მილირენტგენ/საათი	500—5000
III	X 100	0—5	მილირენტგენ/საათი	50—500
IV	X 10	0—5	მილირენტგენ/საათი	5—50
V	X 1	0—5	მილირენტგენ/საათი	0,5—5
VI	X 0,1	0—5	მილირენტგენ/საათი	0,05—0,5

გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრის ათვლა წარმოებს ელექტროსაზომ ხელსაწყოების (მიკროამპერმეტრის) სკალის საშუალებით. მიღებული ანათვლი მრავლდება შესაბამისი ქვედიაპაზონის კოეფიციენტზე.

პირველი ქვედიაპაზონის გარდა ყველა ქვედიაპაზონს აქვს ხმოვანი ინდიკაცია. $+20^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ ტემპერატურის, გარემომცველ ჰაერის $65 \pm 15\%$ შეფარდებითი ტენიანობის, 750 ± 30 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის ატმოსფერული წნევის პირობებში და კვების ნორმალური რეჟიმის დროს მიკროამპერმეტრის სკალის ჩვენების ცდომილება არ აღემატება $\pm 35\%$ -ს. ხელსაწყო მუშაობის უნარის მქონეა — 40° -დან $+50^{\circ}C$ -მდე ტემპერატურის შუალედში და გარემომცველი ჰაერის $65 \pm 15\%$ შეფარდებითი ტენიანობის პირობებში.

ელექტროსაზომ ხელსაწყოს ჩვენება მყარდება 10—45 წამამდე. ხელსაწყოს კვება წარმოებს $1,6 = \text{ПМУ-X-1,05 (KB-1)}$ ტიპის ორი ელემენტით, მესამე ელემენტი საჭიროა სიბნელეში მუშაობისას სკალის გამშუქებელი ნათურის კვებისათვის. კვების წყაროს ერთიკომპლექტი უზრუნველყოფს ხელსაწყოს განუწყვეტელ მუშაობას 40 საათის განმავლობაში.

ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი. ხელსაწყოს მგრძნობიარე ნაწილს CTC-5 ტიპის თვითნაპქრობადი მრიცხველი

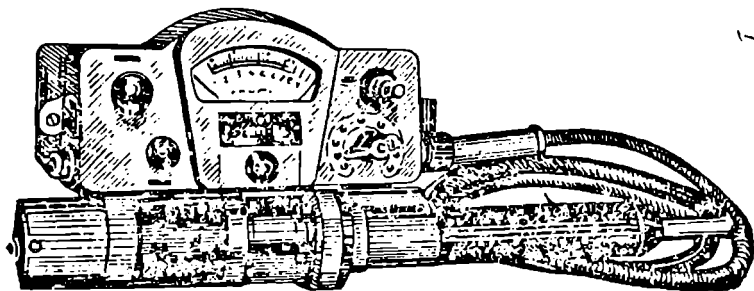
¹ თვითნაპქრობადი მრიცხველის განმარტება მოცემულია მრიცხველის განხილვის დროს. (გვ. 268).

წარმოადგენს. მრიცხველის სამუშაო მოცულობაში მოხვედრილი მა-
 იონიზებელი ნაწილაკების მოქმედებით წარმოქმნილი დენის იმპულ-
 სები ხელსაწყოს რადიოსქემით გაძლიერებისა და ჩამოყალიბების შემ-
 დეგ გადაეცემა დენის იმპულსების სიჩქარის მთვლელ ხელსაწყოს.
 რადგან დროის ერთეულში წარმოქმნილი იმპულსების რიცხვი მით
 მეტია, რაც უფრო ინტენსიურია მაიონიზებელი ნაწილაკების გამოს-
 ხივება, ამიტომ ელექტროსაზომი ხელსაწყოს ათვლის სიჩქარეების მი-
 ხედვით, მისი სკალა გამა-გამოსხივების ან ბეტა-გამოსხივების დოზის
 სიმძლავრის ერთეულებში შეიძლება იქნეს გრადუირებული. ამრიგად,
 ბეტა-, გამა-გამოსხივების ინტენსივობა შეიძლება განისაზღვროს ის-
 რიანი ელექტროსაზომი ხელსაწყოს ჩვენების მიხედვით.

ხელსაწყო შედგება საზომი პულტისა და ზონდისაგან. ზონდი
 პულტთან შეერთებულია 1,2 მ სიგრძის მქონე მოქნილი კაბელით.

ამ ძირითადი ნაწილებს გარდა ხელსაწყოს კომპლექტში შედის
 აგრეთვე პულტის ბუდე, ხელსაწყოს სატარებელი თასმით, რადიაქტი-
 ური სტრონციუმის ($^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$) ეტალონი, ზონდის სახელურის და-
 მამგრძელებელი შტანგა, 10 ცალი პოლიეთილენის აპკისაგან დამზადე-
 ბული ზონდის შალითა.

პულტისა და ზონდის მოსათავსებელ ბუდეს აქვს ორი განყოფი-
 ლება. ერთი პულტის მოსათავსებლად, მეორე კი ზონდისათვის. დახუ-
 რულ მდგომარეობაში ელექტროსაზომით ხელსაწყოს სკალაზე დაკ-
 ვირვებისათვის ბუდეს ზედა სახურავზე აქვს ორგანულ მინისაგან გა-
 კეთებული ფანჯარა. სახურავის შიგნით მოცემულია მოკლე ინსტრუქ-
 ცია ხელსაწყოს სამუშაოდ მომზადების შესახებ, და ზღვრული დასა-
 შვები ნორმების ცხრილი. სახურავის შიგნით მიმაგრებულია აგრეთვე



ნახ. 31. რადიომეტრულ-რენტგენომეტრი ДП - 5-А გარეგანი ხედი.

რადიოქტიური ასტრონციუმის ეტალონი — ხელსაწყოს მუშაობის უნარინაობის შესამოწმებლად.

ყურმილი შედგება TF-7M ტიპის ორი მცირეგაბარითიანი ყურმილისაგან. ყურმილი პულტს მიუერთდება მოქნილი კაბელის საშუალებით.

ზონდის სახელურის დამაგრებელი შტანგა. იგი ზონდის სახელურს უერთდება შემომხვევი მოწყობილობის საშუალებით. დამაგრებელი შტანგის გასაწევი მოწყობილობა მისი დაგრძელების საშუალებას იძლევა 450—720 მილიმეტრამდე (ნახ. 31).

პულტის წინა პანელის ზედაპირზე განლაგებულია: ელექტროსაზომი ხელსაწყო, ქვედიაპაზონის გადამრთველი მ მდგომარეობით, მუშაობის რეჟიმის მარეგულირებელი პოტენციომეტრი, ჩვენების ჩამოსაყრელი ღილაკი, სკალის განათების ჩამრთველი ტუმბლური და ყურმილის ჩასართავი ბუდეები. გარსაცმის ქვემო ნაწილში აქვს 1,6-ПМУ-X-1,05 (КБ-1) ტიპის სამი ელემენტის მოსათავსებელი ნაკვეთური.

ხელსაწყოს ზონდი ცილინდრული ფორმისაა, ზონდის თავის შიდა ცილინდრში მოთავსებულია თვითჩამქრობადი მრიცხველი CTC-5. თვითჩამქრობადი მრიცხველის სამუშაო მოცულობაში ბეტა-ნაწილაკების მოხვედრის მიზნით შიდა ცილინდრს მთელ სიგრძეზე ამონაქერი აქვს გაკეთებული, რომელზედაც დაწებებულია ეთილცელულოზის წყალგამძლე აკი, შიდა ცილინდრი ჩასმულია ფოლადის მბრუნავ ცილინდრულ გარსში. მბრუნავ ცილინდრულ გარსსაც მთელ სიგრძეზე შიდა ცილინდრის ამონაქრის ზომის ამონაქერი აქვს გაკეთებული.

ზონდის თავის ასეთი კონსტრუქცია ბეტა- და გამა-გამოსხივების ცალ-ცალკე გაზომვის საშუალებას იძლევა. თუ მბრუნავ ცილინდრს მოვებრუნებთ და დავაყენებთ „Б“ მდგომარეობაში, მაშინ შიდა და გარეგანი ცილინდრების ამონაქრები ერთმანეთს ემთხვევა და ამ მდგომარეობაში ვზომავთ ბეტა-გამოსხივებას.

თუ მბრუნავ ცილინდრს მოვებრუნებთ და დავაყენებთ „Г“ მდგომარეობაში, მაშინ შიდა ცილინდრის ამონაქერი დაფარულია ფოლადის ეკრანით და ამ მდგომარეობაში იზომება გამა-გამოსხივება.

ზონდის თავის გარსაცმს აქვს ორი შვერილი, რომლებზედაც ვაყენებთ ზონდის თავს ბეტა-გამომსხივებელი ნივთიერებებით მოწამლული ზედაპირის ინდიკაციის ღროს.

გაზომვის ჩატარების მოხერხებულობისათვის ზონდის თავს აქვს სახელური (ტარი).

ხელსაწყოს სამუშაოდ მომზადება და ხმარების წესი

1. ხელსაწყოს ყუთიდან ამოვიღებთ, ვაწარმოებთ გარეგან შემოწმებას და შემჩნეულ უმნიშვნელო დეფექტებს ვასწორებთ.

2. ელექტროსაზომ ხელსაწყოს ისარი ვაყენებთ ნულზე („0“) კორექტორის საშუალებით. რეჟიმის სახელურს ვაბრუნებთ მარჯვნიდან მარცხნივ ბოლომდე და მივეუერთებთ კვების წყაროს.

3. გადამრთველის სახელურს გადავრთავთ მდგომარეობა „რეჟიმი“.

4. რეჟიმის სახელურს ვაბრუნებთ ნელ-ნელა მარცხნიდან მარჯვნივ, სანამ ელექტროსაზომი ხელსაწყოს ისარი არ გადაიხრება აღნიშვნა Δ -მდე. თუ ისარი აღნიშვნა Δ -მდე არ მივიდა, მდამინ კვების წყარო უნდა შემოწმდეს და თუ საჭიროა ახლით შეიცვალოს.

5. საჭიროების შემთხვევაში ჩავრთავთ სკალის განათებას.

6. ქვედიაპაზონი „200“-ს გამოკლებით ყველა ქვედიაპაზონის მუშაობის უნარიანობას ვამოწმებთ რადიაქტიური სტრონციუმის ($^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$) ეტალონით, რისთვისაც ეტალონის დამცველ ფირფიტას დერძის გარშემო ვაბრუნებთ და ვხსნით მას, ზონდის თავს კი ვაყენებთ „ნ“ მდგომარეობაში. შემდეგ ზონდის თავს საყრდნობი წერტილებით ვდგამთ ხელსაწყოს ბუდის სახურავზე. მის ქვეშ—ზონდის თავის ფანჯრის ქვემოთ ვათავსებთ ეტალონს. პულტს მივეუერთებთ ყურმილს და ხელსაწყოს ჩავრთავთ. ხელსაწყოს მუშაობის უნარიანობა მოწმდება ყურმილში ტკაცუნის ხმის გაჩენით. ამ დროს X0,1 და X 1 ქვედიაპაზონების შემთხვევაში ელექტროსაზომი ხელსაწყოს ისარი ბოლომდე გადაიხრება. X 10 ქვედიაპაზონის შემთხვევაში ისარი გადაიხრება რამდენიმე დანაყოფით, ხოლო X 100 და X 1000 ქვედიაპაზონების შემთხვევაში ელექტროსაზომი ხელსაწყოს ისარი შეიძლება არ გადაიხაროს ეტალონის აქტივობის სიმცირის გამო. მაგრამ ყურმილში ტკაცუნის ხმის გაჩენა ხელსაწყოს ვარგისიანობისა და მუშაობის უნარიანობის მაჩვენებელია.

ბ ე ტ ა - გ ა მ ო ს ხ ი ე ვ ბ ი ს ო ნ დ ი კ ა ც ი ა

ბეტა-გამოსხივების აღმოჩენისათვის ზონდის თავის მბრუნავ ცილინდრს მოვაბრუნებთ და ვაყენებთ „ნ“ მდგომარეობაში.

რადიაქტიური ნივთიერებებით ზედაპირული გაჭუჭყიანების ინდიკაციისას ზონდის თავს მივიტანთ გამოსაკვლევ ზედაპირთან 1—2 სანტიმეტრის დაშორებით და არ შევეხებით მას, რათა ზონდის თავი არ გაჭუჭყიანდეს.

ქველიაპაზონების გადამრთველი გადაგეყავს X 0,1; X 1; X 10 და ა. შ. მდგომარეობაში თანდათანობით, სანამ მიკროამპერმეტრის ისარი სკალის ფარგლებში არ გადაიხრება და უშუალოდ მიკროამპერმეტრზე ავიღებთ ანათვალს მილირენტგენ/საათში. ზონდის თავის „B“ მდგომარეობის დროს იზომება ბეტა-და გამა-გამოსხივების ჯამური დოზა.

გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრის გაზომვა გამა-გამოსხივების გაზომვის შემთხვევაში ზონდის თავის მბრუნავ ცილინდრის მოვებრუნებთ და ვაყენებთ „I“ მდგომარეობაში. X0,1; X1; X 10; X 100; X 1000 ქველიაპაზონების შემთხვევაში გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრე იზომება ზონდის თავის მოთავსების წერტილისათვის და ანათვალს ვიღებთ 0—5 სკალაზე მილირენტგენ/საათში. „200“ ქველიაპაზონით მუშაობისას ხელსაწყოს პულტი უნდა გვეკვიროს 0,7—1 მეტრ სიმაღლეზე მიწის ზედაპირიდან (ოპერატორის მკერდთან) და ანათვალს უშუალოდ ვიღებთ 0—200 სკალამდე რენტგენ/საათებში. „4000“ მილირენტგენ/საათზე მაღალი დოზის გაზომვის შემთხვევაში, „X 1000“ ქველიაპაზონით მიღებული გაზომვის შედეგს ვამოწმებთ „200“ ქველიაპაზონით. თუ ამ ორი გაზომვის სხვაობა ცდომილების ფარგლებს სცილდება, მაშინ გაზომვა უნდა ჩავატაროთ „200“ ქველიაპაზონზე და ანათვალს უნდა ავიღოთ 0—200 რენტგენ/საათის სკალიდან.

ინდივიდუალური დოზიმეტრები

1. ინდივიდუალური შემოსხივების დოზიმეტრული კონტროლის კომპლექტი ДП-22-В.

ინდივიდუალური დოზიმეტრების კომპლექტი ПД-22-В განკუთვნილია რენტგენისა და გამა-გამოსხივებათა სფეროში მომუშავე პერსონალის მიერ მიღებული ჯამური შემოსხივების დოზის განსასაზღვრავად.

ხელსაწყოს კომპლექტი შედგება 3Д-5 ტიპის დამმუხტავ მოწყობილობისაგან და ავტოკალმის ფორმის პირდაპირმაჩვენებლიანი მკირე გაბარიტიანი ДКП-50-А ტიპის ინდივიდუალური კონტროლის 50 ცალი დოზიმეტრისაგან (საიონიზაციო კამერისაგან).

ინდივიდუალური დოზიმეტრი ДКП-50-А იძლევა საშუალებას გავზომოთ გამა-შემოსხივების ჯამური რაოდენობა 2—50 რენტგენის შუალედში, გამა-გამოსხივების დოზის 0,5-დან 200 რენტგენამდე საათში სიმძლავრისას. გამა-შემოსხივების დოზის ათვლა წარმოებს ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ცილინდრული გარსაცმის შიგ-

ნით მოთავსებული სკალის საშუალებით. სკალა 25 ნაწილად არის დაყოფილი; თითოეული დანაყოფი უდრის 2 რენტგენს. ინდივიდუალური დოზიმეტრების თვითგანმუხტვა დღე-ღამეში არ აღემატება 2 დანაყოფს.

$\pm 20^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ ტემპერატურისა და გარემომცველი ჰაერის 98% შეფარდებითი ტენიანობის პირობებში ელექტროსაზომი ხელსაწყო მჭიმალური ჩვენებიდან ცდომილება არ აღემატება $\pm 10\%$ -ს.

ინდივიდუალური შემოსხივების დოზიმეტრული კონტროლის კომპლექტი მუშაობის უზარიაანია -40° -დან $\pm 50^{\circ}C$ ტემპერატურის შუალედში. ამ პირობებში დამატებითი ცდომილება არ აღემატება $\pm 7,5\%$ -ს.

დამმუხტავ-საზომი მოწყობილობა იკვებება 1,6-ПМУ-У-8 ტიპის ორი ცალი ელემენტისაგან მიწოდებული დენით. დენით კვების ერთი კომპლექტი უზრუნველყოფს დამმუხტავი მოწყობილობის მუშაობას 30 საათის განმავლობაში.

ხელსაწყოს კომპლექტი ყუთიანად იწონის 30 კილოგრამამდე.

ДКП-50 ტიპის დოზიმეტრის მოქმედების პრინციპი. ინდივიდუალური შემოსხივების კონტროლის დოზიმეტრის ძირითად ნაწილს წარმოადგენენ მცირე გაბარიტიანი საიონიზაციო კამერა და კონდენსატორი ელექტროსკოპით. კამერის დადებითი ელექტროდია კონდენსატორის შიდა ცილინდრი; უარყოფითი კი საიონიზაციო კამერის კედელი.

მუშაობის დაწყების წინ 3Д-5 ტიპის დამმუხტავ მოწყობილობის საშუალებით ინდივიდუალური დოზიმეტრის კონდენსატორს ვმუხტავთ გარკვეულ პოტენციალამდე. რენტგენის ან გამა-გამოსხივების არეში საიონიზაციო კამერის მოხვედრისას მის სამუშაო მოცულობაში შეღწეული რენტგენისა და გამა-სხივები იქ მყოფ აირის იონიზაციას იწვევს; აირის იონიზაციის შედეგად უარყოფითი და დადებითი იონები კამერის ელექტრული ველის გავლენით გაემართებიან ელექტროდებისაკენ; დადებითი იონები გაემართებიან კამერის უარყოფითი (გარეგანი) ელექტროდისაკენ, ხოლო უარყოფითი იონები კი დადებით (შიდა) ცენტრალურ ელექტროდისაკენ (კონდენსატორის შიდა ცილინდრისაკენ), ე. ი. წარმოიქმნება იონური დენი და ამცირებენ მისთვის მინიჭებულ მუხტს. რაც უფრო ინტენსიურია დასხივება და რაც უფრო მეტი ხნით მოქმედებს საიონიზაციო კამერის სამუშაო მოცულობაზე (მგრძნობიარე ნაწილზე) მაიონიზებელი კვანტები (გამა-სხივები), მით უფრო მეტია იონთა წყვილის წარმოქმნა და ცენტრალური (დადებითი) ელექტრო-

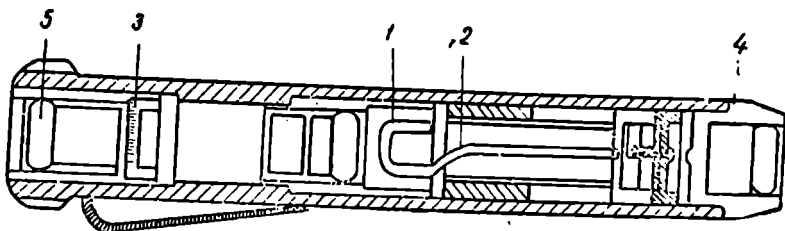
დის განმუხტვა, ე. ი. პოტენციალის შემცირება შემოსხივების დოზის პირდაპირ პროპორციულია. ამრიგად, კონდენსატორის შიდა ცილინდრის ძაბვის ვარდნის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ კამერის მიერ მიღებულ დოზის რაოდენობაზე რენტგენებში.

ძაბვის ვარდნის გაზომვა წარმოებს მინიატურული ელექტროსკოპის საშუალებით, რომელიც თვით საიონიზაციო კამერის შიგნით არის მოთავსებული. ელექტროსკოპის მოძრავი სისტემის მოპლატინირებული კვარცის ძაფის პირვანდელი (ნულოვანი) მდგომარეობიდან გადანაცვლება აღირიცხება სკალაზე და აითვლება თვით საიონიზაციო კამერის მიკროსკოპის საშუალებით რენტგენებში.

ДКП-50-А ტიპის დოზიმეტრის კონსტრუქცია

ДКП-50-А ტიპის პირდაპირმაჩვენებლიან დოზიმეტრს ავტოკალმის ფორმა აქვს (ნახ. 32).

დოზიმეტრი ДКП-50-А შედგება ცილინდრული საიონიზაციო კამერისაგან, ძალიან მაღალი წინაღობის ფტორისფენიანი დიელექტრით განცალკევებული ცილინდრული კონდენსატორისაგან.



ნახ. 32. პირდაპირმაჩვენებლიანი დოზიმეტრი.

საიონიზაციო კამერა და კონდენსატორი მოთავსებულია დურალუმინისაგან გაკეთებულ გარსაცმში. კონდენსატორის შიდა ცენტრალური ელექტროდი გაკეთებულია ალუმინის მავთულისაგან (2). მას უერთდება მოპლატინირებული კვარცის ძაფი. კვარცის ძაფის მიმაგრების ადგილას შიდა ელექტროდს აქვს U-მაგვარი ფორმა (1). მის ზემოთ მოთავსებულია სკალა (3), ზემოთ თავთან კი ობიექტივისა და ოკულარისაგან შედგენილი და 90-ჯერ გამადიდებელი მიკროსკოპი (5). დამუხტვისათვის განკუთვნილი ქვემო ტრანსი დახურულია ზრახნიანი პლასტმასის საცობით (4), ზემო სახურავით კი იხურება დოზიმეტრის საიონიზაციო კამერა და მაგრდება დამპერ ჯიბეზე მისამაგრებლად. ამრიგად, საიონიზაციო კამერის შინაგანი მოცულობა ჰერმეტიზებულია. ყოველ დოზიმეტრს აქვს თავისი ნომერი.

3Д-5 ტიპის დამმუხტავი მოწყობილობა. დამმუხტავი მოწყობილობის ზედა პანელზე განლაგებულია: კვების წყაროს ნაკვეთური, ხუფიანი ბუდე (ფოსო) ინდივიდუალური შემოსხივებულ კონტროლის ДКП-50-А ტიპის დოზიმეტრის დასამუხტავად და პოტენციომეტრის სახელური.

ინდივიდუალური შემოსხივების კონტროლის კომპლექტი ДП-22-В სამუშაოდ მომზადება და ხმარების წესი

1. კვების წყაროს ჩართვის ან შეცვლის წინ პოტენციომეტრის სახელურს ვაბრუნებთ მარჯვნიდან მარცხნივ ბოლომდე. 2. კვების წყაროს ნაკვეთურის სახურავის ზრახნს ამოვხრახნით და სახურავს გადავხრით; ნაკვეთურში ვათავსებთ 1,6-ПМУ-у-8 ტიპის ორ ელემენტს და მივეუერთებთ სათანადო კლემებს პოლარობის დაცვით (პლუსს პლიუსთან, მინუსს მინუსთან). 3. კვების წყაროს ნაკვეთურს დავხურავთ და ზრახნს ჩავხრახნით. 4. ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ქვემოთ ტრასის ზრახნიან საცობს და სამუხტავი მოწყობილობის ბუდის სახურავს ამოვხრახნით და მოვხსნით. 5. სამუხტავ ბუდეში საცობმობრახნილი ბოლოთი მოვათავსებთ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს და მას მსუბუქად დავაწვებით, პოტენციომეტრის სახელურს კი ნელ-ნელა ვაბრუნებთ მარცხნიდან მარჯვნივ (ამ დროს სამუხტო ბუდის გასაშუქებელი ნათურა აინთება), სანამ მოპლათინირებული კვარცის ძაფი არ მივა ნულამდე. ამის შემდეგ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს სამუხტო ბუდიდან ამოვიღებთ. 6. კვარცის ძაფის მდგომარეობას ვამოწმებთ დღის სინათლეზე ისე, რომ ძაფი ვერტიკალურ მდგომარეობაში იყოს. თუ იგი ნულზე დგას, დოზიმეტრი მზად არის სამუშაოდ. ამის შემდეგ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ზრახნიან საცობს უკანვე ჩავხრახნით; ასე ვმუხტავთ საჭირო რაოდენობის დოზიმეტრებს. შემდეგ დამუხტავ მოწყობილობას ამოვრთავთ, რასაც ვალწევთ პოტენციომეტრის სახელურის მარჯვნიდან მარცხნივ ბოლომდე ბრუნვით. 7. დამუხტულ ინდივიდუალურ დოზიმეტრებს ვურიგებთ გამა-გამოსხივების ზონაში მომუშავე პერსონალს საადრიცხვო ყურნალში გატარებით; გვარის გვერდით დოზიმეტრის ნომრის ჩვენებით.

მიღებულ შემოსხივების დოზას რენტგენებში მიკროსკოპის სკალაზე მოპლათინირებული კვარცის ძაფის მდებარეობის მიხედვით ვარკვევთ, ანათვალს ვიღებთ დამჭერის მხრიდან ოკულარში გახედვით; ათვლის დროს მიკროსკოპის სკალა პორიზონტალურ მდგომარეობაში უნდა ვამყოფოთ, ხოლო სათვალთვალო მინა კი უნდა მივმართოთ გაბნეული სინათლისაკენ.

2. ინდივიდუალური შემოსხივების დოზიმეტრული კონტროლის კომპლექტი ДП-24. ინდივიდუალური დოზიმეტრის კომპლექტი ДП-22-В-საგან განსხვავდება მხოლოდ იმით, რომ მცირე გაბარიტიანი ДКП-50-А ტიპის ინდივიდუალური კონტროლის 50 ცალი დოზიმეტრის ნაცვლად ДП-24-ში 5 ცალია და ხელსაწყოს კომპლექტი ყუთიანად იწონის 5,6 კგს.

3. ინდივიდუალური დოზიმეტრი ДК-0,2. ინდივიდუალური დოზიმეტრი ДК-0,2 განკუთვნილია 150 კილო ელექტრონვოლტიდან 2 მილიონ ელექტრონვოლტამდე ენერგიის მქონე ხისტი რენტგენის- და გამა-გამოსხივების ჯამური დოზის 0—200 მილირენტგენის ზღვრებში; გასაზომად, წუთში არა უმეტეს 100 მილირენტგენამდე დოზის სიმძლავრის პირობებში.

ხელსაწყოს კომპლექტი შედგება პირდაპირმაჩვენებლიანი მცირე-გაბარიტიანი ინდივიდუალური კონტროლის 10 ან 100 ცალი დოზიმეტრისაგან და დამმუხტავ მოწყობილობისაგან.

რენტგენის- და გამა-გამოსხივებათა დოზის ათვლა წარმოებს ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ცილინდრული გარსაცმის შიგნით მოთავსებული ჭკალის საშუალებით. სკალა 20 ნაწილად არის დაყოფილი; თითოეული დანაყოფი უდრის 10 მილირენტგენს. სკალა გრადულირებულია მილირენტგენებში.

—20°-დან +35°C-მდე ტემპერატურისა და გარემომცველი ჰაერის 98% შეფარდებითი ტენიანობის პირობებში გაზომვის მთელ დიაპაზონში ცდომილება არ აღემატება $\pm 10\%$. დამატებითი ცდომილება, გამოწვეული დამმუხტული დოზიმეტრების თვითგანმუხტვით, არ აღემატება $\pm 10\%$. დამმუხტავი მოწყობილობის კვება წარმოებს მშრალი ელემენტებისა და ბატარეებისაგან მიწოდებული დენით. მულდმივი დენის წყაროს კომპლექტი შედგება 105-ПМЦГ-0,05 (ან ГВ-200 № 13) ტიპის 2 ცალი ბატარეისაგან და 1,6-МНСУ-8 (2С ან 148-и-9 ან კიდევ 1 КСУ-3) ტიპის 2 ცალი ელემენტისაგან. 105-ПМЦГ-0,05 ტიპის ბატარეა უზრუნველყოფს დამმუხტავ მოწყობილობის განუწყვეტელ მუშაობას 500 საათის განმავლობაში, ხოლო ელემენტი კი 45 საათის განმავლობაში.

ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრი 23 გრამს იწონის. დამმუხტავი მოწყობილობა კვების წყაროებიანად იწონის 1650 გრამს.

ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი

ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრი ДК-02 შედგება მცირე ზომის საიონიზაციო კამერისა და მინიატურული ელექტრომეტრი-

საგან. ელექტრომეტრის მოძრავ სისტემას მოპლათინირებული კვარცის წვრილი ძაფი წარმოადგენს, რომელიც ჩამოკიდებულია ლითონის საჭერზე.

მუშაობის დაწყების წინ ელექტრომეტრი იმუხტება მოპლათინირებული კვარცის წვრილი ძაფის მისვლამდე ხელსაწყოს სკალის ნულოვან მდგომარეობასთან.

დამუხტული ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრზე რენტგენის ან გამა-გამოსხივების მოქმედების დროს მის გრძობიერ ნაწილში წარმოქმნილი იონური დენი ხელსაწყოს ელექტრული ტევადობის განმუხტვას იწვევს, რის გამოც ელექტრომეტრის მოძრავ სისტემის მოპლათინირებული კვარცის წვრილი ძაფი პირვანდელი (ნულოვანი) მდგომარეობიდან გადაინაცვლებს და გვიჩვენებს, თუ რა რაოდენობით იმოქმედა რენტგენის სხივებმა ან გამა-გამოსხივებამ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრზე და. ცხადია, დოზიმეტრის მატარებელ პირზეც. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ხელსაწყოს სწავლა გრადუირებულია მილირენტგენებში.

ხელსაწყოს კონსტრუქცია. მცირეგაბარიტიანი ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრი ჩვეულებრივ ავტოკალამს მოგვაგონებს. მისი ცილინდრული გარსაცმი ღურალუმინისაგან არის გაკეთებული და წარმოადგენს საიონიზაციო კამერის გარეგან ელექტროდს (1).

ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ზემო ნახევარში განლაგებულია: მიკროსკოპი, რომელიც შედგება: ობიექტივისაგან (4), ობიექტივის ბუდისაგან (5) დიაფრაგმით, ოკულარიზა (7) და სკალისაგან (6). ოკულარი მოთავსებულია დოზიმეტრის თავთან, მის ქვემოთ—სკალა, ხოლო სკალის ქვემოთ კი—ობიექტივი (მიკროსკოპი აღიღებს 45-ჯერ). ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ქვემო ნახევარში განლაგებულია ელექტრომეტრის მოძრავი სისტემა საჭერელათი (2). ეს უკანასკნელი ჩასმულია იზოლატორ ჩარჩოზე (3). საჭერელა ალუმინის მავთულისაგან არის გაკეთებული და 4,5 მიკრონი დიამეტრის მქონე კვარცის ძაფის მიმაგრების ადგილას აქვს U-მაგვარი ფორმა: კვარცის ძაფი შინაგან ელექტროდიანად მოპლათინირებულია და წარმოადგენს შინაგან ელექტროდს (2).

შინაგანი ელექტროდის ქვემოთ ელასტიკურ მემბრანაზე დამაგრებულია საკონტაქტო ჩხირი (8).

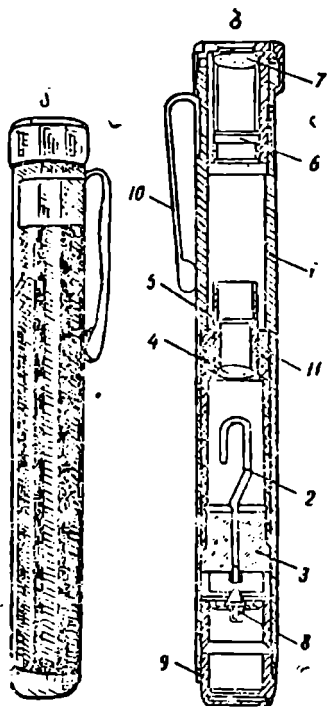
ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ქვემო ტორსი დახურულია ხრახნიანი საცობით (9).

ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს თავთან აქვს საჭერელა (10) ჯიბეზე ან სხვა ადგილზე მისამაგრებლად.

აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ საიონიზაციო კამერას წარმოადგენს ის მოცულობა (11), რომელშიც განლაგებულია მოძრავი სისტემა. საიონიზაციო კამერის შემკრები ელექტროდის როლს ასრულებს მოძრავი სისტემის საჭერელა (ნახ. 33).

დამმუხტავ მოწყობილობის (პულტის) კორპუსის ზედა კედელზე განლაგებულია: ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის საშუალებით ხუფიანი ფოსო, მის მარჯვენა გვერდით მოთავსებულია პოტენციომეტრის სახელური. უკანასკნელის მარჯვენა გვერდით კი მოთავსებულია ტუმბლერი „ჩამრთველ-ამომრთველი“ (ზოგიერთი ტიპის დამმუხტავ მოწყობილობას ჩამრთველ-ამომრთველი ტუმბლერი არა აქვს; მის მაგივრობას თავის ფუნქციასთან ერთად ასრულებს პოტენციომეტრის სახელური).

ხელსაწყოს სამუშაოდ მომზადება და მასთან მუშაობა კვების წყაროს ჩართვის ან შეცვლის წინ ტუმბლერ „ჩამრთველ-ამომრთველს“ გადაერთავთ „ამორთულ“ მდგომარეობაში. ამის შემდეგ დამმუხტავ მოწყობილობის კორპუსის ქვედა კედლის დამმაგრებელ ხრახნისებრ ამოვსრახნით, კედელს მოეხსით და, კვების წყაროს ჩართვის ამოსახლეების მიხედვით, ზემოთ აღნიშნული ტიპის ბატარეებისა და ელემენტების საკონტაქტო მავთულებს მიეუერთებთ სათანადო კლემებს პოლარობის დაცვით. ბატარეებს და ელემენტებს თავთავიანთ ადგილებზე განვალაგებთ, დამმუხტავი მოწყობილობის კორპუსიდან მოხსნილ კედელს უკანვე ჩავდგამთ და ხრახნისებრ ჩაეხრახნით. ტუმბლერ „ჩამრთველ-ამომრთველს“ ვტოვებთ „ამორთულ“ მდგომარეობაში.



ნ.ხ. 33. ინდივიდუალური დოზიმეტრი ДК-0,2-ის საიონიზაციო კამერა; ა—გარეგანი ხელი, ბ—კაბილი.

პოტენციომეტრის სახელურს საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ვაბრუნებთ უვარამდე.

ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ქვემო ტორსის დამცველხრახნიან საცობს ამოვხრახნით. ამის შემდეგ დამმუხტავ მოწყობილობის (პულტის) ფოსო „მუხტის“ ხრახნიან საცობს ამოვხრახნით და ამ ფოსოში საცობმოხრახნილი ბოლოთი მოვათავსებთ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს.

ტუმბლერ „ჩამრთველ-ამომრთველს“ გადავრთავთ „ჩართულ“ მდგომარეობაში. ამ დროს სამუხტო ფოსოს გასაშუქებელი ნათურა აინთება.

სამუხტო ფოსოში ჩასმულ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს მსუბუქად დავაწვებით, ოკულარიდან თვალს ვადევნებთ კვარცის ძაფის სკალაზე გადასაცვლებას. პოტენციომეტრის სახელურს ვაბრუნებთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, სანამ კვარცის წვრილი ძაფი 2—3 დანაყოფით არ გადაინაცვლებს ნულიდან მარცხენა მხარეში. ამის შემდეგ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს, სამუხტო ფოსოდან ამოვიღებთ და დოზიმეტრის სამუხტ კონტაქტს ლითონის ჩხირით შევეხებით ისე, რომ დიაფრაგმა არ ჩაიღუნოს, რითაც დიაფრაგმიდან მოვხსნით მუხტს. ამის შემდეგ ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრის ხრახნიან საცობს უკანვე ჩავხრახნით. დოზიმეტრი მზად არის დოზირების წარმოებისათვის. შემდეგ დამმუხტავ მოწყობილობას ამოვრთავთ.

რენტგენის ან გამა-გამოსხივების სფეროში მუშაობის დროს ინდივიდუალური კონტროლის დოზიმეტრს ჯიბით ვატარებთ.

მუშაობის დროს დოზიმეტრის ოკულარში პერიოდულად ვიხედებით და რენტგენის- ან გამა-გამოსხივების დოზის რაოდენობას მიკროსკოპის სკალაზე კვარცის ძაფის მდებარეობის მიხედვით ვარკვევთ. ათვლის დროს მიკროსკოპის სკალა ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში უნდა ვამყოფოთ.

ლაბორატორიული რადიომეტრები

1. დეკადურ-პრიცხველ დანადგარი ДП-100. დეკადურ-პრეცხველ დანადგარი განკუთვნილია აირმრიცხველებიდან მიღებული ელექტრული იმპულსების აღრიცხვისათვის.

დანადგარი ДП-100 გამოშვებულია სტაციონარული და სავლე ვარიანტით და გამოიყენება როგორც სტაციონარული, ასევე სავლე ტიპის რადიომეტრული ლაბორატორიების პირობებში.

ორივე ვარიანტის დანადგარი შედგება შემდეგი ძირითადი ბლოკებისაგან:

1. დამკავი ტყვიის სახლი (ДСС) აირმრიცხველების არმატურით და პრეპარატებისა და დიაფრაგმების საჭერელიანი კარეტით.

2. მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკი (BC) სასიგნალო კაბელით.

3. დანადგარის პულტი, რომელიც შეიცავს მთელელ ბლოკ-სქემას დანადგარის მუშაობის მმართველსა და მუშაობის კონტროლის ორგანოებით, მკვებავ ბლოკსა და საკონტროლო გენერატორს.

4. მკვებავი კაბელი (KN) და მაღალძაბვის კაბელი (KB). უკანასკნელი გამოიყენება მხოლოდ ტორსული მრიცხველით მუშაობის დროს.

5. სათადარიგო ნაწილები; საველე ვარიანტის კომპლექტში შედის აგრეთვე 5-HKH-45 ტიპის აკუმულატორი.

დანადგარ Dn-100-ს შეუძლია ცალ-ცალკე აითვალოს იმპულსები, რომელთა შორის ინტერვალი მდებარეობს 20—1000 მიკროწამს შორის. „თვლის უნარი“ საშუალო სიხშირის იმპულსების შემთხვევაში უდრის 5000 იმპულს/წამში. აირმრიცხველიდან მიღებული იმპულსების სიხშირე 15000 იმპულს/წამში დასაშვებია.

მთელელ ბლოკ-სქემის გადათვლის საერთო კოეფიციენტი 100:1.

მაქსიმალური „თვლის უნარი“ უდრის 100000 იმპულს/წამში.

საველე და სტაციონარული ვარიანტის დანადგართა კვება შეიძლება როგორც ცვლადი დენის ქსელიდან, ისე აკუმულატორიდან მიწოდებული დენით.

ცვლადი დენის ქსელიდან ან საველე ელექტროსადგურიდან კვების შემთხვევაში საჭიროა 50 ჰერცის სიხშირის 90-დან 250 ვოლტამდე ზღურბლი ძაბვის დენი. ცვლადი დენის 47,5-დან 51,5 ჰერცამდე სიხშირის დროს დანადგარის მუშაობის ნორმალური პირობები შინაგანი სტაბილიზატორითაა უზრუნველყოფილი და მკვებავი ბლოკის გადართვა საჭირო არ არის.

აკუმულატორიდან მიწოდებული დენით კვების შემთხვევაში საჭიროა 6-ვოლტიანი ნომინალური ძაბვის მქონე 5-HKH-45 ტიპის აკუმულატორი. აკუმულატორიდან კვების შემთხვევაში დანადგარის მოთხოვნილება დენზე არ აღემატება 1,5 ამპერს. ამრიგად, ერთი აკუმულატორი გადაუმუხტავად უზრუნველყოფს დანადგარის მუშაობას 25 საათის განმავლობაში.

დანადგარის გადაზღვრების თავიდან აცილებისათვის საჭიროა დანადგარი განუწყვეტლივ ვამუშაოთ არა უმეტეს 12 საათის განმავლობაში.

აირმრიცხველში 250-დან 2000 ვოლტამდე რეგულირებადი ძაბვის მიცემა და აგრეთვე 390-დან 420 ვოლტამდე მუდმივი სტაბილიზებული ძაბვის მიცემა უზრუნველყოფილია მკვებავი ბლოკის რეგულირების ორი ზღურბლური მდგომარეობით.

დანადგარი შრომისუნარიანია $+20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისა და გარემომცველი ჰაერის 75%-მდე შეფარდებითი ტენიანობის პირობებში.

აირმრიცხველიდან მიღებული იმპულსების საერთო რაოდენობიდან წამშრომის. ჩართვა-ამორთვის ცდომილებით, აგრეთვე დესტაბილიზირების ფაქტორებით და სხვა მიზეზების თანაზომიერი მოქმედებით გამოწვეული ცდომილება არ აღემატება 5%.

მთვლელის მიერ არა უმეტეს 25000 იმპულს/წუთში სისწრაფით აღრიცხვისას რადიაქტიური პრეპარატის ან ეტალონური პრეპარატის აქტივობის რეგისტრირებას დანადგარი უზრუნველყოფს 10%-მდე სიზუსტით.

ბუნებრივი რადიაციით ან შენობის რადიაქტიური გაკუჭყიანებით გამოწვეული გამა-ფონის შესუსტება დამცავ ტყვიის სახლით დაახლოებით უდრის შემდეგ სიდიდეს: 0,5 მ ე ვ ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივებას პატარა ტყვიის სახლი ასუსტებს 7-ჯერ, ტყვიის დიდი სახლი — 21-ჯერ; 1,5 მ ე ვ ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივებას პატარა ტყვიის სახლი ასუსტებს 4-ჯერ, ტყვიის დიდი სახლი კი — 12-ჯერ. დანადგარის პულტი იწონის 36 კგ.

მრჩველის ჩამრთველი ბლოკი სასიგნალო კაბელით იწონის 2 კგ, ტყვიის პატარა სახლი იწონის 52 კგ, ტყვიის დიდი სახლი კი — 110 კგ.

უელექტროლიტოდ 5-HKH-45 ტიპის აკუმულატორი იწონის 15 კგ.

საველე ტიპის დანადგარის საერთო წონა უდრის 195 კგ, ხოლო სტაციონარულისა კი—175 კგ.

დამცავი ტყვიის სახლი. დამცავი ტყვიის სახლის დანიშნულებაა გარეგანი რადიაციის მოქმედებისაგან აირმრიცხველის ეკრანირება.

ტყვიის სახლი ექვსი ცალი ტყვიის ფილისაგან არის გაკეთებული, ორი მათგანი ქმნის ყვერდით კედლებს, დანარჩენები კი — ზედა, ქვედა, წინა და უკანა კედლებს, რომლებიც ურთიერთ ფოლადის სამაგრი ღერძების საშუალებით არის შეერთებული. ტყვიის ფილების გარეგანი ზედაპირი მექანიკური დაზიანებისაგან დაცულია ფოლადის ფირფიტებით. ტყვიის პატარა სახლის კედლების სისქე უდრის 25 მმ, ტყვიის დიდი სახლისა კი — 40 მმ.

ტყვიის სახლის კედლები შიგნიდან გამოპირკეთებულია პლექსო-გლასის (ორგანული შინა) ფირფიტებით, რომელთა დანიშნულებაა ტყვიის სახლის კედლებზე გამა-გამოსხივების მოქმედების შედეგად

წარმოშობილი მეორადი ელექტრონების აირმრიცხველზე გავლენის შემცირება.

ტყვიის სახლის არმატურაში შეღწევისათვის სათანადო კედლებს ვაღებთ. ტყვიის პატარა სახლის შემთხვევაში, წინა და ზედა კედლის შემაკავშირებელი ენიანი სამაგრი ღერძის განთავისუფლებით წინა და ზედა კედელი იღება.

ტყვიის დიდი სახლის შემთხვევაში კი, გვერდის კედლებთან შემაკავშირებელი სამაგრი ღერძების განთავისუფლებით წინა კედელი იღება.

არმატურა და აირმრიცხველი ტყვიის სახლის შიგნით არის განლაგებული.

ტყვიის სახლის ფუძის ზედა მხარეზე მონიკელებული ფოლადის თაკავია მოთავსებული, რომელშიც იდგმება პლექსიგლასის კარეტა,

ტყვიის პატარა სახლის კარეტას აქვს სამი საკილო, დიდს კი — ხუთი.

კარეტის ზედა ნაწილში გაკეთებული საკილოე განკუთვნილია დიაფრაგმებისათვის, ორი ქვედა საკილოე კი — პრეპარატების საჭერებისათვის.

კარეტის წინა ნაწილში გაკეთებული ფოსო განკუთვნილია CTC-6 ტიპის მრიცხველის სამუშაო მდგომარეობაში ფიქსირებისათვის.

CTC-6 და CTC-5 ტიპის ცილინდრული მრიცხველი ცანგიანი მომქერით მაგრდება. ჩვეულებრივად CTC-6 ტიპის მრიცხველი ქარხანაშივე მაგრდება.

თუ აირმრიცხველი არ აღმოჩნდა დამაგრებული ან მისი გამოცემა დაგეჰირდა, მაშინ CTC-6 ტიპის მრიცხველს დადებითი პოლუსით თითბერის დგარზე ჩახრახნილცანგიან მომქერში ვსვამთ, ხოლო უარყოფით პოლუსს: კარეტის წინა ნაწილის ფოსოს მიუუერთებთ. თუ CTC-5 ტიპის მრიცხველის ჩართვა დაგეჰირდა, მაშინ სათადარიგო ნაწილებიდან ვრღებთ წვარძლებულცანგიან მომქერს, მასზე ვამაგრებთ მრიცხველს, ხოლო ტყვიის სახლის თითბერის დგარზე დამაგრებულ საჭერელაზე ჩახრახნილცანგიან მომქერს ამოვხრახნით და მის ადგილზე CTC-5 ტიპის მრიცხველდამაგრებულ — წვარძლებულცანგიან მომქერს ჩავენრახნით. მრიცხველის უარყოფით პოლუსს ამ შემთხვევაშიც კარეტის წინა ნაწილის ფოსოს მიუუერთებთ.

MCT-17 ტიპის ტორსული მრიცხველის ჩასართავად სათადარიგო კომპლექტიდან ვიღებთ პანელს სპეციალური საჭერელათი, რომელზედაც ვამაგრებთ ტორსულ მრიცხველს და მრიცხველიან პანელს ვათავსებთ კარეტის ქვემოდან მეორე საკილოეზე.

ტყვიის სახლის უკანა კედლის შიგნითა მხარეში გამოყვანილ სპეციალურხუფიან მავთულებს მიუყვართებთ MCT-17 ტიპის ტორსულ მრიცხველს. ხუფებზე აღნიშნულია პოლარობა. MCT-17 ტიპის ტორსულ მრიცხველის დადებით პოლუსს წამოვაცმევთ დადებით-ნიშნის ხუფს, ხოლო უარყოფით პოლუსს კი—უარყოფითნიშნის ხუფს. გარედან ტყვიის სახლის უკანა კედელზე პლექსიგლასისაგან გაკეთებული, საიზოლაციო შუასადებით იზოლირებული ზამბარიანი ორი ფოსო და მამკვალის სახის კონტაქტები აქვს მიმაგრებული. ზამბარიან ფოსოებში ვსვამთ მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის (BC) გარსაცმზე გაკეთებულ საკილოებს. ამით აირმრიცხველსა და მთვლელ ბლოკ-სქემას შორის მყარდება კონტაქტი. მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის სასიგნალო კაბელის მეორე ბოლოს მიუყვართებთ დანადგარის პულტს.

მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკი. ჩამრთველი ბლოკი (BC) ითვლება გამოტანილ ბლოკად. მრიცხველის ჩამრთველ ბლოკს აქვს ორი დანიშნულება — გააძლიეროს მრიცხველში წარმოქმნილი დენის იმპულსი და უზრუნველყოს აირმრიცხველისა და პულტის ურთიერთკავშირი. მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკი წარმოადგენს მართკუთხიანი ფოლადის კოლოფს. ორი შედარებით პატარა კედელი გაკეთებულია ამოსაღებად. ერთ-ერთ მათგანს გაკეთებული აქვს საკილოები ტყვიის სახლზე მისამაგრებლად, ხოლო ერთ-ერთ უფრო დიდ კედელზე, ერთმანეთის გვერდით მოთავსებულია ზამბარიანი ორი ფოსო, რომლებიც განკუთვნილია ტყვიის სახლის ზამბარიან ფოსოებთან შესაუღლებლად. მრიცხველის ჩასართი ბლოკის სასიგნალო კაბელს ერთ ბოლოზე გაკეთებული აქვს მილტუჩა, რომლის საშუალებით იგი მრიცხველის ჩამრთველ ბლოკს უერთდება. ხოლო მეორე ბოლოზე გაკეთებული აქვს შტეფსელის ჩასართავი ფოსო პულტთან მისაერთებლად. სასიგნალო კაბელის მილტუჩას გვერდით მოთავსებულია სახურავიანი მაღალძაბვის კაბელის (KB) შტეფსელის ჩასართი ფოსო წარწერით „III-2+2000 ვოლტი“.

მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის (BC) კოლოფის შიგნით დამონტაჟებულია ელექტრონმილაკის პანელი; 1B1Π ტიპის მიმღებ-გამაძლიერებელი ელექტრონმილაკით, ორი წინაღობა და კონდენსატორი.

პულტი

პულტი განკუთვნილია აირმრიცხველებიდან მიღებული იონური დენის იმპულსების აღრიცხვისათვის.

პულტი კონსტრუქციულად ორი ბლოკისაგან შედგება: მკვებავი ბლოკისა და მთვლელ ბლოკ-სქემისაგან. მთვლელი ბლოკ-სქემა შეი-

ცაეს დანადგარის მუშაობაზე დაკვირვების საკონტროლო, მისი მუშაობის მართვისა და დროის ერთეულში მიღებული იონური დენის იმპულსების რაოდენობის აღრიცხვის ორგანოებს.

მთელელი ბლოკ-სქემა დამონტაჟებულია კორიზონტალურ შასზე, დამაგრებულია პულტის პანელზე და მოთავსებულია პულტის საერთო გარსაცმში. დანადგარის მუშაობაზე დაკვირვების საკონტროლო და მართვის ორგანოები გამოტანილია პულტის წინა პანელის ზედაპირზე (ნახ. 34).

პულტის წინა პანელის ზედაპირზე განლაგებულია:
მარცხენა ზემო კუთხეში — ელექტრომექანიკური მრიცხველი



ნახ. 34. დეკოდო-მრიცხველ დანადგარი Dn-100.

МЭС, ელექტრომექანიკური მრიცხველის კნობით წარმოებს მრიცხველის ჩვენების ჩამოყრა და ისრის ნულოვან მდგომარეობაში დაბრუნება. მის მარჯვნივ — ნეონის ნათურები. ნეონის ნათურები ორმწკრივად არის განლაგებული; თითო მწკრივში ოთხ-ოთხი ნათურაა. ნეონის ნათურების ლინზებზე შავი საღებავით არის დაწერილი ციფრები, პირველი მწკრივის ნათურების ლინზებზე 1, 2, 4 და 8, მეორე მწკრივის ნათურების ლინზებზე — 10, 20, 40 და 80, რომლებიც შესაბამისი ნეონის ნათურების ანთებისას შუქდება.

ნეონის ნათურების განლაგების მარჯვნივ (წინა პანელის ზედაპირის მარჯვენა ზემო კუთხეში) მოთავსებულია საათი-წამშვომი; სა-

ათი-წამმზომის კნობით წარმოებს წამმზომის და მთვლელ ბლოკ-სქემის სინქრონული ამუშავება, გაჩერება და წამმზომის და მთვლელ ბლოკ-სქემის საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება. მარცხენა კნობით წარმოებს საათი-წამმზომის მომართვა და კნობის ამოწეულ მდგომარეობაში კი — ისრების გადაყვანა.

ნეონის ნათურების ქვემოთ მოთავსებულია აირმრიცხველიდან მოწოდებული მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრი (M 24-28 ტიპის ვოლტმეტრი). მის ქვემოთ მოთავსებულია დანადგარის კვების საკონტროლო ვოლტმეტრი (M 364 ტიპის ვოლტმეტრი), მის ქვემოთ მოთავსებულია ტირატრონი — ნეონის ნათურების ძაბვის მასტაბილიზებული და ამავე დროს ის წარმოადგენს სასიგნალო ნათურას (დანადგარის ჩართვის ინდიკატორს).

მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის მარცხენა ქვემო კუთხესთან მოთავსებულია სტაბილიზებული 390 ვოლტიანი მაღალძაბვის რეგულატორი, რომლის შლიცი ამოსახრახნ-ჩასახრახნი საცობით არის დახურული, წარწერით „სტაბ. U“, ხოლო მის მარჯვენა ქვემო კუთხესთან კი მოთავსებულია არასტაბილიზებული 500 და 2000-ვოლტიანი მაღალძაბვის რეგულატორი, რომლის შლიცი ასევე ამოსახრახნ-ჩასახრახნი საცობითაა დახურული, წარწერით „პლატო“.

პულტის წინა პანელის მარცხენა მხარეში — ელექტრომექანიკური მრიცხველის ქვემოთ მოთავსებულია ხელსაწყოს სამუშაო მდგომარეობაში გადასართავად, სახელდობრ: „სტაბ. 390“ (სტაბილიზ. მდგომარეობით), „კონტროლი“ (საკონტროლო გენერატორით წარმოებს მთვლელ ბლოკ-სქემის მუშაობის შემოწმება), „მუშაობა“ (აირმრიცხველიდან მიღებული იმპულსების აღრიცხვისათვის) და „მილაკების შემოწმება“ (მთვლელ ბლოკ-სქემაში ჩართული ელექტრომილაკების ძაფების ვარჯარების შემოწმება).

პულტის წინა პანელის მარჯვენა მხარეში — საათი-წამმზომის ქვემოთ მოთავსებულია სპეციალური კონსტრუქციის მაღალძაბვის სახელურიანი გადამრთველი „390“, „500“ და „2000“ ზღურბლი სტაბილიზაციით და გათვალისწინებულია მაღალძაბვიან წრედის სამ მდგომარეობაში გადასართავად, სახელდობრ: „სტაბ. 390“ (სტაბილიზებული მაღალძაბვა 380—420 ვოლტის ზღვრებში); „ზღურბლი 500“ (მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის სკალის 500 ვოლტის შესაბამისი რეგულირების ზღურბლით—არასტაბილიზებული მაღალძაბვის მარეგულირებელი) და „ზღურბლი 2000“ (მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის სკალის 2000 ვოლტის შესაბამისი რეგულირების ზღურბლით — არასტაბილიზებული მაღალძაბვის მარეგულირებელი).

კვების საკონტროლო ვოლტმეტრის მარცხენა მხარეს ქვემო კუთხესთან მოთავსებულია დანადგარის კვების გადამრთველი სახელური გაღართვის სამი მდგომარეობით: „დენი“ (დანადგარი ჩართულია მკვებავ ცვლად დენთან), „ამორთული“ (დანადგარი კვებისაგან ამორთულია) და „აკუმულატორი“ (დანადგარი ჩართულია მკვებავ აკუმულატორთან).

პულტის წინა პანელის ზედაპირის ქვემო ნაწილში, მარცხნიდან მარჯვნივ, განლაგებულია მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის (BC) სასიგნალო კაბელის მისაერთებელი ფოსო, მის მარჯვნივ მაღალძაბვის კაბელის (KB) მისაერთებელი ფოსო; მაღალძაბვის კაბელი ჩაერთვება მხოლოდ ტორსული მრიცხველის MTC-17-ით მუშაობის დროს. მცველი П1-ის ქვემოთ მოთავსებულია სათადარიგო ელექტრომექანიკური მრიცხველის (MЭC) ჩასართავი შტეფსელი: სათადარიგო ელექტრომექანიკური მრიცხველი ჩაერთვება პულტის წინა პანელის მარცხენა ზემო კუთხეში მოთავსებული ძირითადი ელექტრომექანიკური მრიცხველის გაფუჭების შემთხვევაში; მათი ერთდროულად ჩართვა დაუშვებელია. მის გვერდით მოთავსებულია მკვებავი კაბელის (Kn) ჩასართავი ფოსო და კლემა წარწერით „3“ დამიწება, რომელიც განკუთვნილია ცვლადი დენის ქსელიდან ან საველე ელექტროსადგურიდან მიღებული დენით კვების შემთხვევაში დამიწებისათვის.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ დანადგარი Дп-100-ს კომპლექტი შეიცავს სამ-სამ დიაფრაგმას და პრეპარატის საჭერელას. დიაფრაგმები გაკეთებულია 2 მმ სისქის მქონე მონიკელებული ლითონის ფირფიტისაგან, რომლებსაც გაკეთებული აქვთ სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ნახვრეტები და განკუთვნილია ბეტა-გამოსხივების შესასუსტებლად.

პრეპარატების საჭერელები გაკეთებულია 4 მმ სისქის მქონე პლექსიგლასისაგან და აქვთ ფიგურული ნახვრეტები და პრეპარატების დამკერები.

დიაფრაგმების მიერ ბეტა-გამოსხივების შესუსტება ასეთია:

Д₁ — დიაფრაგმა ბეტა-გამოსხივებას 100-ჯერ ამცირებს;

Д₂ — დიაფრაგმა ბეტა-გამოსხივებას 35-ჯერ ამცირებს;

Д₃ — დიაფრაგმა ბეტა-გამოსხივებას 5-ჯერ ამცირებს.

პრეპარატების საჭერელები და მათი დანიშნულება:

ПТ — საჭერელა განკუთვნილია ტამპონებისათვის;

ПП — საჭერელა განკუთვნილია მართკუთხიან კიუვეტებზე და ტანილ პრეპარატებისათვის;

ПК — საჭერელა განკუთვნილია მრგვალ კიუვეტებზე და ტანილ პრეპარატებისათვის.

დანადგარი Дп-100 სამუშაო დომოზადება. დანადგარი Дп-100-ზე მუშაობის წარმოებისათვის საჭიროა:

- 1) დანადგარის აწყობა,
- 2) მთელელ ბლოკ-სქემის შემოწმება,
- 3) აირმრიცხველის სამუშაო რეჟიმის დადგენა,
- 4) არასტაბილური მალაქაბების დენით მუშაობის შემთხვევაში ვოლტამპერულ მახასიათებლის (პლატოს) აგება.

დანადგარ Дп-100 აწყობა. დანადგარ Дп-100 სტაციონარული ვარიანტის სტაციონარული ლაბორატორიის პირობებში აწყობისათვის საჭიროა: საფუთავი ყუთებიდან პულტის, ტყვიის სახლის, მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის სასაფხალაო კაბელით ამოღებისა და გარეგანი შემოწმების შემდეგ მათი განლაგება და აწყობა.

სასურველია დამკავი ტყვიის სახლი დაიდგას პულტის მარცხენა მხარეს. თუ ტყვიის სახლში აირმრიცხველი ჩართული არ აღმოჩნდება, ის უნდა ჩავრთოთ ზემოაღნიშნული წესის თანახმად.

პულტის წინა პანელის დამკავი სახურავი უნდა მოვხსნათ; დანადგარის კვების სახელური წარწერით „დენი“ — „ამორთული“ — „აკუმულატორი“ გადავრთოთ „ამორთულ“ მდგომარეობაში.

СТС-6 ან СТС-5 მრიცხველით მუშაობის შემთხვევაში მალაქაბების სახელურიანი გადამრთველი წარწერით „390“, „500“ და „2000“ გადავრთოთ „სტაბ. 390“ მდგომარეობაში. МСТ-17 მრიცხველით მუშაობის შემთხვევაში კი—„ზღურბლი 2000“ მდგომარეობაში; ისეთი აირმრიცხველებით მუშაობის შემთხვევაში, რომელთა მახასიათებელი СТС-6 და СТС-5 მრიცხველთა მახასიათებლისაგან განსხვავებულია, მაშინ მალაქაბების გადამრთველის სახელური გადაგვყავს „ზღურბლი 500“ ან „ზღურბლი 2000“ მდგომარეობაში ტყვიის სახლში ჩართული აირმრიცხველის სამუშაო, ძაბვის სიდიდეზე დამოკიდებულებით.

მალაქაბების რეგულატორის შლიცის დამკავ სახურავს წარწერით „სტამ. П“ ამოვხრახნით და შლიცს სახრახნისის საშუალებით საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით ვაბრუნებთ უვარამდე. ამის შემდეგ შლიცის დამკავ სახურავს უკანვე ჩავხრახნით.

მკვებავი კაბელის (КП) ჩანგალს მკვებავი კაბელის ჩასართავ ფოსოში ჩავსვამთ და წამოსაცმელ ქანჩს ბოლომდე ჩავხრახნით; მრიცხველის ჩამრთველ ბლოკს (НС) ტყვიის სახლს მივუერთებთ; ამისათვის საჭიროა ტყვიის სახლის უკანა კედელზე გაკეთებული ზამბარიანი ორი ფოსოს მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის მართკუთხიანი ფოლადის კრლოფის საკილოები შევეუწევროთ, ხოლო მრიცხველის ჩამ-

რთველი ბლოკის სასიგნალო კაბელის თავისუფალ, მეორე ბოლოს — ჩანგალს პულტის წინა პანელის ზედაპირის მარცხენა ქვემონაწილში მოთავსებულ სასიგნალო კაბელის მისაერთებელ ფოსოში ჩაესვამთ და წამოსაცმელ ქანჩს ჩაეხრახნით ბოლომდე.

MCT-17 ტიპის ტორსული მრიცხველით მუშაობის შემთხვევაში პულტის მარცხენა ქვემო კუთხის „მაღალაბვის U“ და მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის მისაერთებელ III-2000-ვოლტიანი ფოსოების საცობებს ამოეხრახნით და მათში მაღალაბვის კაბელის (KB) ჩანგლებს ჩაესვამთ და წამოსაცმელ ქანჩებს ჩაეხრახნით ბოლომდე. ამ შემთხვევაში ნარჩენი მუხტით სხეულის დაზიანების თავიდან აცილებისათვის საჭიროა მაღალაბვის კაბელის ერთეულოვანი მარცხველის ჩამრთველ ბლოკს მიეუერთოთ, შემდეგ კი მეორე ბოლო მიეუერთოთ დანადგარის პულტს. ამის შემდეგ მთელ ბლოკ-სქემის მკვებავ კაბელს (Kn) მიეუერთებთ 90-დან 250 ვოლტამდე ძაბვის მქონე ცვლადი დენის ქსელს.

აუცილებლობის შემთხვევაში სტაციონარული ვარიანტით გამოშვებული დანადგარი Дп-100 შეიძლება ვკვებოთ აკუმულატორიდან მიწოდებული დენითაც. ამ მიზნისათვის, ზემოთ აღნიშნული ტიპის აკუმულატორის გარდა, შეიძლება გამოვიყენოთ ისეთი აკუმულატორებიც, რომლებშიც განუწყვეტელი მუშაობის დროს დასაშვებია 2 ამპერი განმუხტვა.

დანადგართან აკუმულატორის მიერთებისათვის საჭიროა მკვებავი კაბელის ორი გამტარი ბუნჯი აკუმულატორის კლემებს მიეუერთოთ პოლარობის დაცვით.

დანადგარი Дп-100 სავსე ვარიანტის საშუალოდ მომზადება ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად წარმოებს, იმ განსხვავებით, რომ MCT-17 ტიპის მრიცხველის ჩართვა და მასთან დაკავშირებული ოპერაციების ჩატარება საჭირო არ არის. ხოლო პულტის დასადგმელად შეიძლება გამოვიყენოთ თვით ის ყუთი, რომელშიც პულტია მოთავსებული, ხოლო ტყვიის სახლი ყუთიდან ამოუღებლივ შეიძლება მიეუერთოთ პულტს, რისთვისაც ყუთს სათანადო ჭრილი აქვს გაკეთებული. საჭიროების შემთხვევაში როგორც პულტი, ისე ტყვიის სახლი შეიძლება სადგარზე დავამაგროთ კომპლექტში შემავალი M-10 ტიპის ტანკიკების საშუალებით.

დანადგარი Дп-100 ჩართვა და მუშაობის ნორმალური რეჟიმის დადგენა უნდა შევამოწმოთ საათი-წამწომი და საჭიროების შემთხვევაში მოვმართოთ იგი მარცხენა კნოპის საშუალებით.

ცვლადი დენის ძაბვის ქსელიდან კვების შემთხვევაში კვების ნორ-
მალურ რეჟიმს ვამოწმებთ, რისთვისაც მაღალძაბვის სახელურიანი გა-
დამრთველი გადაგვყავს „სტაბ. 390“ მდგომარეობაში, ხოლო სამუშაო
მდგომარეობაში ვადამყვანი სახელურიანი გადამრთველი წარწერით
„შემოწმება-მუშაობა — მილაკების შემოწმება“ გადაგვყავს „მუშაო-
ბის“ მდგომარეობაში.

დანადგარის კვების სახელური წარწერით „დენი—ამორთული—
აკუმულატორი“ იმისდა მიხედვით, თუ რომელი დენის წყაროთი
ვკვებავთ. გადაგვყავს მდგომარეობაში „დენი“ ან „აკუმულატორი“;
ორივე შემთხვევაში უნდა აინთოს სასიგნალო ნათურა.

დანადგარის კვების რეჟიმში მოწმდება M 364 ტიპის კვების სა-
კონტროლო ვოლტმეტრის საშუალებით; ცვლადი დენის ქსელიდან
კვების შემთხვევაში ვოლტმეტრის ისარი სკალის 4,75 — 7 ვოლტს
შორის უნდა დადგეს. ასეთ შემთხვევაში კვების ნორმალური რეჟიმი
დაცულია და გამმართველის სტაბილიზატორი ნორმალურად მუშაობს;
მუშაობის ნორმალური რეჟიმი მყარდება სამი წუთით გახურების შემ-
დეგ.

აკუმულატორიდან კვების შემთხვევაში, ბუ. ვოლტმეტრის ისა-
რი სკალის 5,5 — 6,5 ვოლტს შორის დადგა, მაშინ კვების ნორმალუ-
რი რეჟიმი დაცულია.

უნდა გვახსოვდეს, რომ დანადგარში გამოყენებული სტაბილიზა-
ციის სქემა ნორმალურად მუშაობს 90-დან 250 ვოლტამდე ზღურბლი
ცვლადი დენის ძაბვისა და ცვლადი დენის 47,5 — 51,5 ჰერცამდე
სიხშირის შემთხვევაში. თუ ეს პირობები არ არის დაცული, ვოლტ-
მეტრის ისარი 4,75 — 7 ვოლტის დიაპაზონში არ გაჩერდება, რაც და-
ნადგარის მუშაობის რეჟიმის არანორმალობის მაჩვენებელია. რა
თქმა უნდა, მკვებავი ძაბვის მკვეთრი არასინუსოიდალურობა დანადგა-
რის მუშაობას აუარესებს. ყოველივე ამის შემდეგ თითო ვაჭერთ საათ-
წამშრომის მარჯვენა კნოპს. ამ დროს პულტის წინა პანელის ზემო ნა-
წილში განლაგებული ყველა ნეონის (ინდიკატორული) ნათურები
უნდა ჩაქრეს.

ხელსაწყოთა სამუშაო მდგომარეობაში გადასაცვანი სახელურიანი
გადამრთველი გადაგვყავს „მილაკების შემოწმების“ მდგომარეობაში;
ამ დროს ყველა ნეონის ნათურა უნდა აინთოს, ხოლო მაღალძაბვის
საკონტროლო ვოლტმეტრის ისარს უნდა დადგეს 150—300 ვოლტს
შორის.

მთელელ ზლოკს ქემის მუშაობის სისწორის
შემოწმება. ამისათვის ელექტრომექანიკური მრიცხველის ქვე-

მთ მათავსებული ხელსაწყოს სამუშაო მდგომარეობაში გადასაყვანი სახელურიანი გადამრთველი გადაგყყავს „შემოწმების“ მდგომარეობაში, ხოლო ელექტრომექანიკური მრიცხველის კნოპზე თითის დაქერით მის ისრებს ვაყენებთ ნულის მდგომარეობაში.

თითს ვაქერთ საათ-წამმზომის მარჯვენა კნოპს, რითაც წამმზომს და გადამრთველ ხელსაწყოს ავამუშავებთ. ამ დროს საკონტროლო გენერატორიდან გადამრთველ ხელსაწყოში დაიწყება 60-დან 240 იმპულს/წუთის სიხშირის იმპულსების მიღება.

ხელსაწყოს სამუშაო მდგომარეობაში გადასაყვანი სახელურიანი გადამრთველის „შემოწმების“ მდგომარეობაში გადართვის დროს, თუ მხოლოდ ზოგიერთი ნეონის ნათურა აინთო და არა ყველა; მაშინ საათ-წამმზომის მარჯვენა ასამუშავებელ კნოპზე ორჯერ თითის დაქერით ინდიკატორული (ნეონის) ნათურებს ვაქრობთ, ელექტრომექანიკური მრიცხველის ჩვენებასაც ჩამოყერთ მისივე კნოპზე თითის დაქერით. ამ დროს ელექტრომექანიკური მრიცხველის როგორც დიდი, ისე პატარა ისარი სკალის ნულოვან დანაყოფზე უნდა დაბრუნდეს.

საათ-წამმზომის მარჯვენა კნოპზე თითის დაქერით წამმზომს და გადამრთველ ხელსაწყოს ავამუშავებთ. დანადგარს ვამუშავებთ არა უმეტეს 200 იმპულსის ათვლის ხანგრძლივობით, შემდეგ საათ-წამმზომის იმავე მარჯვენა კნოპზე თითის დაქერით წამმზომს და გადამრთველ ხელსაწყოს ამოვრთავთ (ვაჩერებთ). დიდი სკალის მიხედვით, ელექტრომექანიკური მრიცხველის ჩვენებასა და ანთებულად დარჩენილი ნეონის ნათურების ლინზებზე დაწერილ რიცხვთა ჯამს შორის სხვაობა, არ უნდა აღემატებოდეს ± 1 ; ერთი და იმავე დროის მონაკვეთში ელექტრომექანიკური მრიცხველით და ნეონის ნათურებით ერთი და იგივე რაოდენობის იმპულსების აღრიცხვა მთველ ბლოკსქემის ნორმალური მუშაობის მაჩვენებელია და დანადგარი ვარჯისია მუშაობისათვის. რადგან ნეონის ნათურებს შეუძლიათ მხოლოდ 1-დან 99-მდე იმპულსების აღრიცხვა. ამიტომ 100-ზე მეტი იმპულსის აღრიცხვის შემთხვევაში მხედველობაში უნდა მივიღოთ ელექტრომექანიკური მრიცხველის მცირე სკალის ჩვენებაც.

საჭიროა ზღინიზნოს ისიც, რომ მუშაობის დაწყების წინ — დანადგარის ყოველი ჩართვისას, ელექტრომექანიკური მრიცხველის და საათ-წამმზომის სათანადო კნოპებზე თითის დაქერით გადამრთველი მოწყობილობისა და ელექტრომექანიკური მრიცხველის ჩვენება ერთ-ორჯერ უნდა ჩამოყვართ. წინააღმდეგ შემთხვევაში მთველი ბლოკსქემის რეჟიმის დაუმყარებლობის მიზეზით შეიძლება ადგილი ექნეს

გადამთვლელი მოწყობილობის ყალბ ამოქმედებას, რაც გამოიწვევს ალრიცხვის ცდომილებას.

მათელ ბლოკ-სქემის მუშაობის სისწორის (შრომისუნარიანობის) შემოწმების შემდეგ სამუშაო მდგომარეობაში გადაყვანი სახელურიანი გადამრთველი გადაგვყავს მუშაობის მდგომარეობაში და სათანადო კნობებზე თითის დაქერით ელექტრომექანიკური მრიცხველის, ნეონის ნათურებისა და წამმზომის ჩვენებას ჩამოვყრით.

მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის მარჯვენა ქვემო კუთხეში მოთავსებული მაღალძაბვის რეგულატორის — წარწერით „პლატო“ — ძაბვას ვაყენებთ მოცემულ აირმრიცხველისათვის საჭირო ძაბვაზე; საათ-წამმზომის ქვემოთ მოთავსებულ მაღალძაბვის სახელურიანი გადამრთველის გადართვის მდგომარეობის მიხედვით ძაბვას ვამოწმებთ მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის საშუალებით.

CTC-6 და CTC-5 ტიპის მრიცხველებით მუშაობის შემთხვევაში მიზანშეწონილია სტაბილიზებული ძაბვის გამოყენება, ე. ი. მაღალძაბვის სახელურიანი გადამრთველი გადაგვყავს „სტაბ. 390“ მდგომარეობაში. სტაბილიზებული ძაბვის რეგულირებას ვაწარმოებთ ძაბვის რეგულატორით, რომლის შლიცი ამოსახრახნი საცობით არის დახურული წარწერით „სტაბ. U“. ძაბვაზე დავკვირვებას ვაწარმოებთ მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის სკალით „500“. სტაბილიზებული ძაბვით მუშაობის შემთხვევაში მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის ისარი უნდა გაჩერდეს სკალის 390-დან 420 ვოლტამდე დანაყოფს შორის.

ზემოაღნიშნული ოპერაციების ჩატარების შემდეგ დანადგარი მზად არის მუშაობისათვის.

მრიცხველის ვოლტამპერული მახასიათებლის (პლატოს) აგება. ახალი მრიცხველით მუშაობის დაწყების წინ ან მისი შეცვლის დროს აუცილებლად უნდა გამოვიკვლიოთ მრიცხველის ვოლტამპერული მახასიათებელი, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ ვმუშაობთ არასტაბილიზებული დენით.

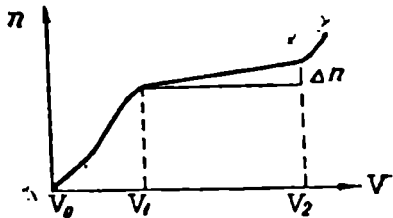
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მრიცხველის პასპორტში, სხვა საჭირო მონაცემებთან ერთად, მოცემულია ისიც, თუ რომელი ძაბვიდან იწყებს იგი იმპულსების აღრიცხვას. მაგრამ ხშირად მრცხველი, მიუხედავად საბასპორტო მონაცემებისა, არ იწყებს იმპულსების აღრიცხვას. ამიტომ პირველად ვპოულობთ აღრიცხვის ზღურბლს, ე. ი. ისეთ ძაბვას, რომლის უმნიშვნელო შემცირებაც კი გამოიწვევს გადამთვლელ მოწყობილობის მიერ იმპულსების აღრიცხვის შეწყვეტას, რის შემდეგ ძაბვას თანდათანობით ვზრდით, სანამ ძაბვის შემდგომი ზრდით

დროის ერთეულში აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობის უცვლელობის ინტერვალიდან არ მივალწევთ ძალიან მატების უბანს.

ცილინდრული მრიცხველისათვის საჭიროა ყოველ 20 ვოლტზე გაზომვით თელის სისწრაფე, ხოლო ტორსული მრიცხველისათვის კი—ყოველ 50 ვოლტზე. მაღალძაბვის კონტროლს ვახორციელებთ მაღალძაბვის საკონტროლო ვოლტმეტრის (M 24-28 ტიპის ვოლტმეტრის) საშუალებით.

გაზომვის ექსპოზიციის შემცირების მიზნით, ტყვიის სახლში ჩართული მრიცხველის ქვემოთ ვათავსებთ რადიოაქტიურპარპარატიან კიუვეტდამაგრებულ საჭერელას, რომელმაც დროის ერთეულში რამდენიმეჯერ მეტი იმპულსთა რაოდენობა უნდა მოგვეცეს ბუნებრივი ფონისაგან მიღებულ იმპულსთა რაოდენობასთან შედარებით. მაგრამ წუთში აღრიცხვის საშუალო სიჩქარე მაინც არ უნდა აღემატებოდეს 500—700 იმპულსს, რადგან ხელსაწყოს საგრძნობი იმპულსური დატვირთვა მრიცხველის ვოლტამპერულ მახასიათებლის (პლატოს) სიგრძის შემცირებასა და მისი დაქანების გადიდებას გამოიწვევს.

მრიცხველის ვოლტამპერული მახასიათებლის გამოკვლევის დროს მაღალძაბვის სახელურიანი გადამრთველი გადაგვყავს „ზღურბლი 500“ ან „ზღურბლი 2000“ მდგომარეობაში, ხოლო ხელსაწყოს სამუშაო მდგომარეობაში გადაყვანი სახელურიანი გადამრთველი კი გადაგვყავს „მუშაობის“ მდგომარეობაში. ამის შემდეგ დანადგარს ვრთავთ კვების წყაროსთან, რისთვისაც დანადგარის კვების სახელური გადაგვყავს მდგომარეობაში „დენი“ ან „აკუმულატორი“ და წამშვომსა და გადამთვლელ მოწყობილობას ავამუშავეთ საათ-წამშვომის მარჯვენა კნოპზე ზითის დაჭერით; 3 — 5 წუთის გავლის შემდეგ იმავე კნოპზე თითის დაჭერით გადამთვლელ მოწყობილობას და წამშვომს ამოვრთავთ, ავიღებთ ანათვალს და ასე ვავრძელებთ მანამ, ვიდრე არ მივალწევთ დროის ერთეულში აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობის ძლიერ მატების უბანს. მიღებული მონაცემების მიხედვით, ვადგენთ მრუდს, აბცისის ღერძზე ვალაგებთ მრიცხველის ძაბვის ვოლტებში, ხოლო ორდრნატის ღერძზე ამ ძაბვათა შესაბამის თელის სისწრაფეს იმპულს/წუთში. მივიღებთ ნახ. 35-ზე მოცემული მრიცხველის ტიპური მახასიათებლის ანალოგიურ მრუდს.



ნახ. 35. მრიცხველის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

• მრუდში ძაბვის ზღურბლის მდგომარეობა აღნიშნულია V_0 -ით. ძაბვის ამ გარკვეულ ზღურბლს მრიცხველის მუშაობის საწყისი პოტენციალი ანუ ანთეზის პოტენციალი ეწოდება. როგორც აღვნიშნეთ, ძაბვის თანდათან მომატება დასაწყისში იწვევს იმპულსების რაოდენობის ძლიერ მომატებას, მაგრამ ამ დროს მრიცხველი ჯერ კიდევ ვერ აღრიცხავს. მასში მოხვედრილ ყველა იმპულსს, მრუდში ეს მოცემულია $V_0 - V_1$ მონაკვეთის სახით. ძაბვის შემდგომი ზრდა დროის ერთეულში იმპულსთა რაოდენობის ცვალებადობას თითქმის არ იწვევს (მონაკვეთი $V_1 - V_2$). ვოლტამპერული მახასიათებლის უბნის ამ ინტერვალს (მრუდის ამ მონაკვეთს) მრიცხველის პლატო ეწოდება. პლატო ითვლება მრიცხველის ვოლტამპერულ მახასიათებლის სამუშაო უბნად.

პლატოს ფარგლებში ძაბვის შესაძლო ცვალებადობა მრიცხველის თვლის სისწრაფეზე პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს და მრიცხველი აწარმოებს მასში მოხვედრილი მაიონიზებული ნაწილაკების თითქმის 100%-ით აღრიცხვას. სწორედ ამიტომ აუცილებელია პლატოს მონახვა და მის ფარგლებში მუშაობა.

ფონის განსაზღვრა. გამოსაკვლევი პრეპარატის რადიოაქტივობის განსაზღვრის, წინ აუცილებელია რადიოაქტიური ნივთიერების გარეშე განვსაზღვროთ აირმრიცხველის თვლის სისწრაფე დროის ერთეულში. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, უპრეპარატოდ აირმრიცხველის მიერ დროის ერთეულში აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობას ბუნებრივი ფონი ეწოდება.

ბუნებრივი ფონის განსაზღვრის დროს ტყვიის სახლის საჭირო საკილოზე ვათავსებთ სუფთა კიუვეტიან საჭერელას; ელექტრომექანიკურ მრიცხველს დავაყენებთ ნულოვან მდგომარეობაში. ხელსაწყოს ჩართვის შემდეგ თითს ვაჭერთ საათ-წამმზომის მარჯვენა კნოპს, რითაც წამმზომს და გადამთვლელ მოწყობილობას ავამუშავებთ. 3—5 წუთის გავლის შემდეგ, საათ-წამმზომის იმავე კნოპზე თითის დაჭერით გადამთვლელ მოწყობილობას და წამმზომს ამოვრთავთ (ვაჩერებთ).

დეკადურ-მრიცხველის ნეონის ნათურების ციფრების განათება უნდა განხორციელდეს შემდეგი თანმიმდევრობით: 1, 2, (1+2); (1+4); (2+4); (1+2+4); 8, (8+1); 10, (10+1) და ა. შ., რაც საბოლოოდ ელექტრომექანიკური მრიცხველის ამოქმედებას იწვევს.

იმპულსთა რაოდენობის გაანგარიშების დროს ელექტრომექანიკური მრიცხველის ჩვენებას უნდა დაეუმატოთ იმპულსთა რიცხვი, რომელსაც გვაძლევს გადამთვლელ მოწყობილობაზე ანთებულ ნეონის ნათურათა ლინზეებზე დაწერილ ციფრთა ჯამი. მიღებულ იმპულს-

თა რაოდენობა, გადაანგარიშებული ერთ წუთზე, იქნება ბუნებრივი ფონი (m).

დანადგარის მიერ აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობის გაანგაზიშებას ვაწარმოებთ შემდეგნაირად:

1-დან 99-მდე იმპულსების რაოდენობას ვითვლით ანთებულად დარჩენილ ნეონის ნათურათა ლინზებზე დაწერილ ციფრთა შეჯამებით.

ელექტრომექანიკური მრიცხველის დიდი სკალის თითოეული დანაყოფი აღრიცხავს ყოველ ასეულ იმპულსს, რომელიც 100 ასეთ დანაყოფს შეიცავს. მაშასადამე, დიდი სკალა მთლიანად აღრიცხავს 10000 იმპულსს; ელექტრომექანიკური მრიცხველის პატარა სკალის თითოეული დანაყოფი აღრიცხავს ყოველ 10000 იმპულსს, რომელიც 10 ასეთ დანაყოფს შეიცავს; მაშასადამე, ელექტრომექანიკური მრიცხველის ერთი ციკლის „თვლის უნარი“ იქნება 100000 იმპულსი.

ზემოაღნიშნულიდან ცხადია, რომ ელექტრომექანიკური მრიცხველის მიერ აღრიცხული იმპულსების რაოდენობის გავებისათვის საჭიროა ელექტრომექანიკური მრიცხველის ჩვენება გავამრავლოთ 100-ზე და მიღებულ ნამრავლს უნდა დავუმატოთ იმპულსთა რიცხვი, რომელსაც გვაძლევს გადამთვლელ ხელსაწყოზე ანთებულად დარჩენილი ნეონის ნათურათა ლინზებზე დაწერილი ციფრთა ჯამი.

მაგალითად, ვთქვათ, ბუნებრივი ფონის გავომეა ჩავატარეთ 5 წუთის განმავლობაში. ელექტრომექანიკური მრიცხველის დიდი სკალის ციფერბლატზე ისარი გადაიხარა 5 დანაყოფით, ანთებული დარჩა ნეონის ნათურები 10, 20, 40, ე. ი. 70 იმპულსი.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ბუნებრივი ფონი (m) გაიანგარიშება ასე:

$$m = (5 \cdot 100 + 70) : 5 = 114 \text{ იმპულს/წუთში.}$$

პრაქტიკული მუშაობის დროს ბუნებრივი ფონის ასეთი განსაზღვრა ყოველ ორ საათში ერთხელ უნდა ჩავატაროთ.

უფრო ზუსტი შედეგების მიღებისათვის საჭიროა როგორც ბუნებრივი ფონის, ისე გამოსაკვლევი რადიოაქტიური პრეპარატის აქტივობა გავზომოთ არანაკლებ ორ-სამჯერ და, მიღებული საშუალო არითმეტიკული სიდიდის მიხედვით, განვსაზღვროთ საბოლოო შედეგი.

ჩვეულებრივად გარეგანი ძლიერი რადიოაქტიური გამოსხივების გარეშე ბუნებრივი ფონი არ უნდა აღემატებოდეს:

CTC-5 ტიპის მრიცხველისათვის — 27 იმპულს/წუთში;

CTC-6 ტიპის მრიცხველისათვის — 110 იმპულს/წუთში;

MCCT-17 ტიპის მრიცხველისათვის — 25 იმპულს/წუთში.

თუ გარეგანი გამოსზივების გარეშე ბუნებრივი ფონი მაინც მაღალია, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ტყვიის სახლის შიგნითა მხარე ან კიუვეტი რადიაქტიური ნივთიერებებით არის გაქუქყიანებული. ასეთ შემთხვევაში, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კიუვეტის დეზაქტივაცია წარმოებს ასე: კიუვეტებს ვყრით აცეტონში და 5 წუთის განმავლობაში ვაჩერებთ; შემდეგ ჭაგრისით ვხეხავთ და გულდასმით ვრეცხავთ წყლით (სასურველია ცხელი წყლით). კარეტის, პრეპარატების საჭერელებისა და ტყვიის სახლის შიგნითა კედლების დეზაქტივაციას ვატარებთ ლიმონმჟავის 5%-იანი წყალხსნარით, შემდეგ ჭაგრისით ვხეხავთ და გულდასმით ვრეცხავთ წყლით.

დეზაქტივაციის შემდეგ ნატურალურ ფონს ისევ ვამოწმებთ.

დანადგართან მუშაობა. დანადგართან მუშაობისას უნდა დავიცვათ შემდეგი თანმიმდევრობა:

ტყვიის სახლის გასახსნელ კედელს ვხსნით და აირმრიცხველის ქვემოთ ვათავსებთ სუფთა კიუვეტიან საჭერელას შესაბამის საკილოეზე და ტყვიის სახლის კედელს ვხურავთ; CTC-6 ან CTC-5 ტიპის მრიცხველით მუშაობის დროს კიუვეტიან საჭერელას ვათავსებთ ზემოდან კარეტის მეორე საკილოეზე და ზემოაღნიშნული წესით ვსაზღვრავთ ბუნებრივ ფონს.

ფონის გამოკვლევის შემდეგ, ფონის განსაზღვრისათვის გამოყენებულ სუფთა კიუვეტის ნაცვლად, აირმრიცხველის ქვემოთ ვათავსებთ გამოსაკვლევ პრეპარატიან კიუვეტდამაგრებულ საჭერელას. თუ პრეპარატი ძლიერ აქტიურია, ვიყენებთ შესაფერის დიაფრაგმას. დიაფრაგმის შერჩევას ვაწარმოებთ იმის გათვალისწინებით, რომ იმპულსების თვის მანქიმალური სისწრაფე არ უნდა აღემატებოდეს 25000 იმპულს/წუთში.

MCT-17 ტიპის მრიცხველით მუშაობის შემთხვევაში კიუვეტიან საჭერელას ვათავსებთ კარეტის ქვემო საკილოეზე. MCT-17 ტიპის მრიცხველით მუშაობის დროს დიაფრაგმის გამოყენება არ არის გათვალისწინებული: CTC-6 ან CTC-5 ტიპის მრიცხველით მუშაობის შემთხვევაში ვიყენებთ სტაბილიზებულ ძაბვას; მაღალძაბვის სახელურიანი გადამრთველი გადაგვყავს „სტაბ. 390“ მდგომარეობაში. თუ სხვა ტიპის აირმრიცხველებს ვიყენებთ, მაშინ აირმრიცხველის სამუშაო ძაბვას ვაყენებთ დაახლოებით პლატოს შუა წერტილის შესაბამის ძაბვაზე.

დანადგარის კვების სახელური წარწერით — „დენი-ამორთული-აკუმულატორი“, — იმისდა მიხედვით, თუ რომელი დენის წყაროთი ვკვებავთ, გადაგვყავს „დენი“ ან „აკუმულატორის“ მდგომარეობაში

ე. ცვლადი ღენით კვების შემთხვევაში „ღენი“, ხოლო აკუმულატორიდან მიწოდებული ღენით კვების შემთხვევაში „აკუმ.“ მდგომარეობაში).

სათანადო კნოპებზე თითის დაჭერით ელექტრომექანიკური მრიცხველისა და ნეონის ნათურების ჩვენებას ჩამოვყრით; თითს ვაჭერთ საათ-წამშომის მარჯვენა კნოპს, რითაც წამშომს და გადამთვლელ მოწყობილობას ავამუშავებთ.

საჭირო ექსპოზიციის (6—10) წუთი გავლის შემდეგ საათ-წამშომის ასამუშავებელ იმავე კნოპზე თითის დაჭერით წამშომსა და გადამთვლელ მოწყობილობას ამოვრთავთ (ვაჩერებთ). უნდა გვანსოდეს, რომ იმპულსების დიდი რიცხვის რეგისტრირებით და გაზომვის ხანგრძლივობის გადიდებით იზრდება გაზომვის სიზუსტე. იმპულსების თვლის მეტისმეტი სისწრაფისა და ხანგრძლივი ქქსპოზიციის შემთხვევაში ყურადღება უნდა მივაქციოთ პატარა სკალის ისრის ბრუნვას. რადგან ათი ათასობრთ იმპულსების რაოდენობამ შეიძლება 100 000 გადააჭარბოს.

დანადგარის მიერ აღრიცხულ იმპულსთა საერთო რაოდენობას წუთში ვანგარიშობთ ისე, როგორც ბუნებრივი ფონის იმპულსთა საერთო რაოდენობას.

მაგალითი. ვთქვათ, „სამიზნეს“ (პრეპარატის) აქტივობის განზომვა ჩავატარეთ 10 წუთის განმავლობაში. ელექტრომექანიკური მრიცხველის პატარა სკალის ისარმა გააკეთა მთლიანი ბრუნვა და მეორე და მესამე დანაყოფს შორის გაჩერდა, დიდი სკალის ისარი კი 70 დანაყოფზე გაჩერდა, ანთებული დარჩა ნეონის ნათურები 1, 4, 10 და 80, ე. ი. 95 იმპულსი.

ამრიგად, აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობა ერთი წუთის განმავლობაში შეადგენს:

$$n = (1270 \cdot 100 + 95) : 10 = 12709,5 \text{ იმპულს/წუთში.}$$

ელექტრომექანიკური მრიცხველისა და საათ-წამშომის მარჯვენა კნოპზე თითს ვაჭერთ, რითაც მრიცხველისა და ნეონის ნათურების ჩვენებას ჩამოვყრით. ტყვიის სახლის გასახსნელ კედელს ვხსნით, პრეპარატიან საჭერელას გამოვიტანთ, მის ნაცვლად კალიბრირებულ (სტანდარტული) პრეპარატიან კიუვეტს ვამაგრებთ საჭერელაზე და ვათავსებთ აირმრიცხველის ქვემოთ კასეტის იმავე საცილოეზე, რომელზედაც მოთავსებული იყო გამოსაცვლელი პრეპარატიანი საჭერელა. სტანდარტულ პრეპარატს ვარჩევთ ზემოაღნიშნული წესის თანახმად, რათა შესწორების კოეფიციენტის შეყვანა არ დაგვჭირდეს ფორმულაში.

აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობას წუთში ვანგარიშობთ ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად.

დიაფრაგმის გამოყენების შემთხვევაში კალიბრირებული (სტანდარტული) პრეპარატით ვაღვენთ დიაფრაგმის კოეფიციენტს (Kg). ამისათვის საჭიროა გავიგოთ იმპულსთა რაოდენობა დიაფრაგმიანად და უდიაფრაგმოდ ერთი და იგივე ექსპოზიციით გაზომვის პირობებში.

უდიაფრაგმოდ მიღებულ იმპულსთა რაოდენობა, გაყოფილი დიაფრაგმიდან მიღებულ იმპულსთა რაოდენობაზე, იძლევა დიაფრაგმის კოეფიციენტის რიცხვით მნიშვნელობას.

მაგალითი. ვთქვათ, უდიაფრაგმოდ აღრიცხული იყო 6360 იმპულსი, დიაფრაგმიანად კი—1272 იმპულსი. აქედან:

$$Kg = \frac{6360}{1272} = '5.$$

გამოსაკვლევი პრეპარატის შეფარდებითი ხვედრითი აქტივობა. A გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$A = \frac{A_0 Kg(n-m) \cdot M_2 \cdot 10^3}{(n_0 - m) \cdot M \cdot M_1 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ კიური/კგ.}$$

სადაც Kg დიაფრაგმის კოეფიციენტია; უდიაფრაგმოდ Kg = 1;

A₀—ეღ აღონის აქტივობა დაშლა/წუთებში;

n—პრეპარატიდან მიღებული იმპულსების რიცხვი წუთში ფონითურთ;

m—ფონის გაზომვის დროს მიღებული იმპულსების რიცხვი წუთში;

M—პრეპარატის დასამზადებელად აღებული რაკრის წონა გრამებში;

M₁—საანალიზოდ აღებული ჩედლეული სინჯის წონა გრამებში;

M₂—საანალიზოდ აღებული ჩედლეული სინჯიდან მიღებული ნაცრის მთლიანი წონა გრამებში;

10³ — გრამების კილოგრამებში გადასაყვანი მამრავლი;

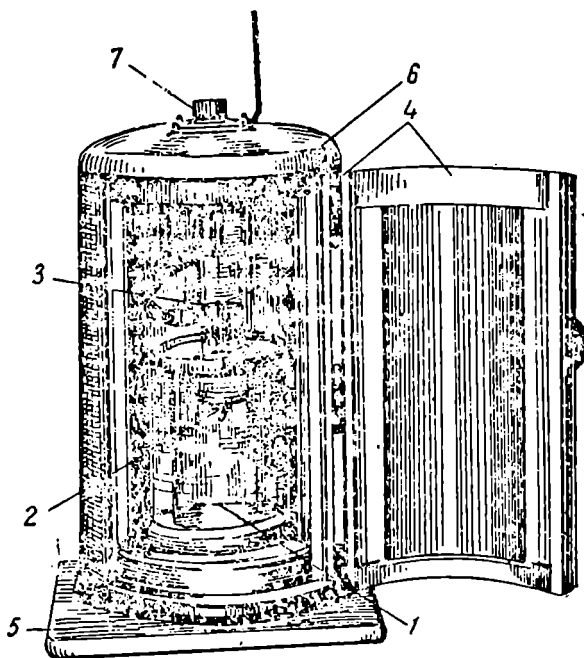
2,22·10¹²—დაშლა/წუთების კიურებში გადასაყვანი მამრავლი.

რადგან 25000 იმპულს/წუთში — მეტი სიჩქარით იმპულსების აღრიცხვის შემთხვევაში, აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობასა და პრეპარატის აქტივობას შორის პირდაპირპროპორციულობა არ არის დაცული, ამიტომ ეს მომენტი აუცილებელივ მხედველობაში უნდა მივიღოთ. ასეთ შემთხვევაში ან დიაფრაგმა უნდა გამოვიყენოთ, ან კალიბრირებული პრეპარატების ნაკრებებიდან შევარჩიოთ ისეთი, რომლის აქტივობა გამოსაკვლევი პრეპარატის აქტივობასთან ძალიან ახლოსაა.

საჭიროა აღინიშნოს ისიც, რომ მაღალი ნატურალური ფონი ზრდის დანადგარით აღრიცხული პრეპარატის აქტივობის მინიმალურ.

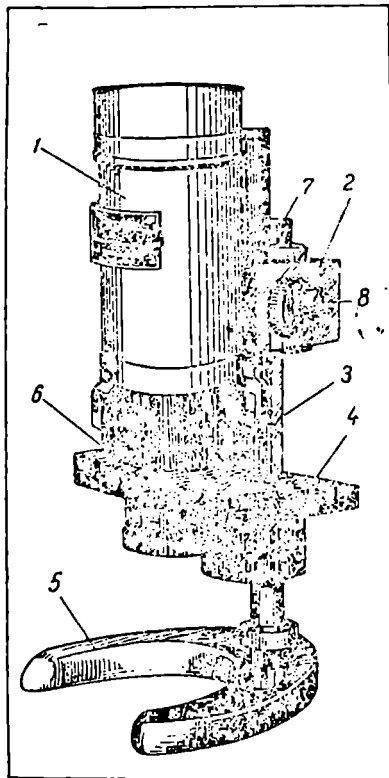
სიდიდეს. ამიტომ შედარებით ზუსტი შედეგების მიღებისათვის საჭიროა: $n-m$ ტოლი ან მეტი უნდა იყოს 3. $\sqrt{n+m}$, სადაც n — გამოსაკვლევი პრეპარატის თვლის სისწრაფეა, ნაღ ურალური ფონი თურთ, ე. ი. იმპულს წუთში, m — ბუნებრივი ფონი იმპულს/წუთში.

2. დეკოდურ-მრიცხველ დანადგარი ДП-100-АД-М. დანადგარი ДП-100-АД-М დანადგარ ДП-100-საგან განსხვავდება მხოლოდ იმით, რომ დანადგარ ДП-100-სათვის განკუთვნილი ზემოაღნიშნული ძირითადი ბლოკების გარდა იგი შეიცავს აგრეთვე აღფა-გადამწოდს და ДСС ტიპის ტყვიის სახლის ნაცვლად თან ერთვის ДП-100 ტიპის ტყვიის სახლი (ნახ. 36).



ნახ. 36. ДП-100 ტიპის ტყვიის სახლი: 1— МСТ-17 ტიპის ტორსული მრიცხველის სამაჯრი, პრეპარატიანი კასეტებისა და შთანქმელი დიფრაგმების მოსათავსებელი მოწყობილობა, 2—კასეტა, 3— МСТ-17 ტიპის ტორსუ ი მრიცხველი, 4—ტყვიის სახლის კორპუსი კარით, 5—კორპუსის ფუძე, 6—სახურავი, 7—მრიცხველის ჩამრთველი ბლოკის (БС) ზამბარაინი ფოსოს შესაუღლებელი (ჩასაცმბი), რომლითაც ინ მუერადება გადამთვლელ მოწყობილობას (პულტს).

ა ლ ფ ა-გ ა დ ა მ წ ო დ ი. ალფა-გადამწოდი განკუთვნილია რადი-
აქტიური იზოტოპებით მოწამლული პრეპარატებისა და სინჯების ხვე-



დრითი აქტივობის განსაზ-
ღერისათვის ალფა-გამოსხივე-
ბის მიხედვით (ნახ. 37).

ალფა-გადამწოდი ცილინ-
დრული ფორმისაა. იგი მიმა-
გრებულია სპეციალურ შტა-
ტივ-დგარზე, ეს უკანასკნელი
კი ჩახრახნილია ფუძეზე. შტა-
ტივ-დგარზე მიმაგრებულია
აგრეთვე კრონშტეინი (ბჯენი).
კრონშტეინს აქვს ორი ფო-
სო — ზედა და გვერდითი; ზედა
ფოსო განკუთვნილია მრიცხვე-
ლის ჩამრთველი ბლოკის (BC)
გადამთვლელ მოწყობილო-
ბასთან (პულტან) შესაუღ-
ლებლად; მეორე, ე. ი. კრონ-
შტეინის გვერდით კედელზე
გაკეთებული ფოსო კი განკუ-
თვნილია მაღალი ძაბვის კა-
ბელის (KB) შტეფსელის ჩა-
სართავად.

ალფა-გადამწოდის ცი-
ლინდრულ კორპუსში მოთავ-
სებულია ფოტოელექტრული
გამამრავლებელი (ФЭУ) და
ლუმინეფორი. კიუვეტის მო-
სათავსებელი სპეციალური კა-
სეტი ალფა-გადამწოდის კორ-
პუსთან მიერთებულია სამი
მარყუჟის საშუალებით. სპე-
ციალური მოწყობილობით კა-
სეტის უძრავ ნაწილს გაკეთე-

ნახ. 37. ალფა-გადამწოდი:

1—გადამწოდი, 2—კრონშტეინი, 3—შტატივ-დგა-
რი, 4—კასეტი, 5—ფუძე, 6—ჭიქის ფორმის კასე-
ტის უძრავი ნაწილი, 7—მრიცხველის ჩამრთველი
ბლოკის (BC) შესაუღლებელი ფოსო, 8—მაღალი
ძაბვის კაბელის (KB) შტეფსელის ჩასართავი ფო-
სო.

ბული აქვს ლუმინეფორი, რომელიც სინათლის ზემოქმედებისაგან დაცუ-
ლია ალუმინის თხელი ფირფიტით (0,01 მმ). კასეტის ქვედა ნაწილს
წარმოადგენს სპეციალური მოძრავი თარო. თაროს აქვს ორი ფოსო ეტა-

ლონური ან გამოსაკვლევი პრეპარატიანი კიუვეტების მოსათავსებლად. როდესაც ერთ-ერთ ფოსონზე მოთავსებული პრეპარატიანი კიუვეტი მოქცეულია ლუმინეფორის ქვემოთ, მაშინ მეორე ფოსო თავისუფალია და გარეთაა გამოშვებული. ამრიგად, ერთი პრეპარატი სპეციალური თაროს საშუალებით ისე შეიძლება შეიცვალოს მეორეთი, რომ ფოტოელექტრული გამამრავლებლის ლუმინეფორი არ შემოსხივდეს დღის სინათლით, რაც იძლევა ყალბ ანათვალს.

ა ლ ფ ა-გ ა დ ა მ წ ო დ ი ს მ ო ქ მ ე დ ე ბ ი ს პ რ ი ნ ც ი პ ი. ალფა-ნაწილაკი, იმოქმედებს რა ლუმინეფორზე, იწვევს მის ნათებას (სციინტილაციას). მიღებული სინათლის იმპულსი ფოტოელექტრული გამამრავლებლით ელექტრულ იმპულსებად გარდაიქმნება, რომლებიც მისივე საშუალებით რამდენიმე მილიონჯერ ძლიერდება; წარმოქმნილი და გაძლიერებული იმპულსები რადიოტექნიკური სქემის საშუალებით გადამთვლელ მოწყობილობას გადაეცემა, სადაც იგი აღირიცხება.

დანადგარი ДП-100-АД-М-ის სამუშაოდ მომზადება და ხმარების წესი. დანადგარის კვება, ნორმალური რეჟიმის დადგენა, მთვლელ ბლოკ-სქემის მუშაობის სისწორის შემოწმება, პლატოს დადგენა, ფონის განსაზღვრა და გამოსაკვლევი პრეპარატების ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრა დანადგარ ДП-100-ის ანალოგიურად წარმოებს.

სქელი ფენის მეთოდით ბეტა- და ალფა-გამომსხივებელი ნივთიერებებით მოწამლული პრეპარატების ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრა განხილულია ქვემოთ.

8. დანადგარი Б-8. დანადგარი Б-3 განკუთვნილია დაბალვოლტიანი აირმრიცხველიდან მიღებული ელექტრული იმპულსებისა და აგრეთვე პერიოდული იმპულსების აღრიცხვისათვის. თუ მაღალვოლტიან გამმართველს ჩავრთავთ, იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მაღალვოლტიან აირმრიცხველებიდან მიღებული ელექტრული იმპულსების აღრიცხვისათვისაც.

დანადგარი Б-3 შედგება შემდეგი ძირითადი ბლოკებისაგან:

1) ა ი რ მ რ ი ც ხ ვ ე ლ ი ს ჩ ა მ რ თ ვ ე ლ-მ ი მ ლ ე ბ ი გ ა დ ა მ-წ ო დ ი ბ ლ ო კ ი Б.П.С-3, რომლის დანიშნულებაა გააძლიეროს მრიცხველში წარმოქმნილი ელექტრული იმპულსები, გაუყეთოს მას სტანდარტიზაცია და დადებითი პოლარობის იმპულსები გადასცეს გადამთვლელ მოწყობილობას (П.С.-20), ე. ი. უზრუნველყოს აირმრიცხველისა და გადამთვლელი ხელსაწყო ს უ რ თ ი ე რ თ კ ა ვ შ ი რ ი. 2) გადამთვლელი მოწყობილობა (П.С.-20) განკუთვნილია აირმრიცხველებიდან 20. ა. კალანდია

მიღებული იონური დენის იმპულსების აღრიცხვისათვის. გადამთვლელი ბლოკის ძირითადი ელემენტებია: OI- ტიპის ერთი და OI-4 ტიპის ხუთი აირგანმუხტველი დეკატრონები, რომლებიც დამონტაჟებულია ჰორიზონტალურ შასზე.

OI-3 ტიპის დეკატრონის მაქსიმალური თვლის სისწრაფე უდრის 20000 იმპულს/წამში, ხოლო OI-4 ტიპის დეკატრონების მაქსიმალური თვლის სისწრაფე კი 2000 იმპულს/წამში. დანადგარი N-3-ის „თვლის უნარი“ საშუალოდ უდრის 10000 იმპულს/წამში, თვლის ტევადობა კი 10^6 იმპულსს.

3) მკვებავი ბლოკი — შედგება: ა) 30 მილიამპერი დენის ძალისა და +300 ვოლტი ანოდური ძაბვის მქონე სტაბილიზებული გამმართველისაგან, ბ) 30 მილიამპერი დენის ძალისა და — 150 ვოლტი უარყოფითი ძაბვის მქონე სტაბილიზებული გამმართველისაგან, გ) სტაბილიზებული გამმართველისა და ყველა მილაკის მკვებავი ტრანსფორმატორისაგან.

გამმართველის შიგნით დამონტაჟებული სტაბილიზატორი დაბალვოლტიანი აირმრიცხველების კვებას უზრუნველყოფს სტაბილიზებული ძაბვით 390 ± 20 ვოლტის ზღურბლით. ხელსაწყოს თან ახლავს შემაერთებული კაბელები და დაბალვოლტიანი აირმრიცხველების კომპლექტი. ხელსაწყო იკვებება 50 ჰერცის სიხშირისა და 110, 127 ან 220 ვოლტი ძაბვის მქონე ცვლადი დენის ქსელიდან მიწოდებული დენით.

ხ ე ლ ს ა წ ო ს მ ო ქ მ ე დ ე ბ ი ს პ რ ი ნ ც ი პ ი. მიმღებ-გადამწოდ ბლოკიდან მადიფერენცირებელ წრედში შემოდის დადებითი პოლარობის იმპულსები. მადიფერენცირებელი წრედი შედგება კონდენსატორისა და ომურ წინაღობისაგან. დიფერენცირების შემდეგ იმპულსები გადაეცემა OI-3 ტიპის დეკატრონის გამტარ სქემას. გამტარი სქემა წარმოადგენს მიმღებ მულტივიბრატორს. შემოსული დადებითი იმპულსები მულტივიბრატორს აამოქმედებს და მის მარცხენა ანოდზე წარმოიქმნება 20 მიკროწამის ხანგრძლივობისა და 130 ვოლტი ამპლიტუდიანი ფორმირებული იმპულსები. OI-3 ტიპის დეკატრონის მიერ მიღებული ყოველი ათეული იმპულსით წინაღობაზე წარმოქმნილი დადებითი იმპულსები გადაეცემა OI-4 ტიპის პირველი დეკატრონის გამტარ სქემას. აქაც გამტარი სქემა წარმოადგენს მულტივიბრატორს. მომდევნო OI-4 ტიპის დეკატრონების ამოქმედება ხორციელდება მათ შორის განლაგებული გადამსვლელი გამაძლიერებლებით. ამრიგად ხორციელდება აირმრიცხველიდან მიღებული იმპულ-

სების გაძლიერება და გადამთვლელი ბლოკის მიერ იმპულსების აღრიცხვა.

ხ ე ლ ს ა წ ყ ო ს კ ო ნ ს ტ რ უ ქ ე ც ი ა

განხილული ბლოკები დამზადებულია დაშტამპული წესით. გადამთვლელი ΠC-20 მოწყობილობის წინა პანელის ზედაპირზე განლაგებულია მუშაობის გვარობის გადამრთველი ხუთი კნობით:

1) კნობი „ამომრთველი“, კნობზე თითის დაჭერის დროს ხელსაწყო ამოირთვება დენის ქსელიდან.

2) კნობი „ჩამოყრა“. კნობზე თითის დაჭერის დროს ყველა დეკატრონის ჩვენება ჩამოიყრება.

3) კნობი „შემოწმება“. კნობზე თითის დაჭერის დროს ხელსაწყოს შემსვლელი ბლოკი ღებულობს 6,3 ვოლტიან ცვლად ძაბვას და მოწმდება ხელსაწყოს შრომისუნარიანობა.

4) კნობი „ამუშავება“. კნობზე თითის დაჭერის დროს ხელსაწყოს ამუშავდება, — დაიწყება მიღებული იმპულსების აღრიცხვა.

5) კნობი „გაჩერება“. კნობზე თითის დაჭერის დროს გადამთვლელი ხელსაწყო წყვეტს ახლადშემოსულ იმპულსების ათვლას და ფიქსაციას უკეთებს უკვე მიღებულს.

გადამთვლელი ბლოკის უკანა პანელის ზედაპირზე განლაგებულია მაღალი სიზშირის გასართი უარყოფითი და დადებითი პოლარობის იმპულსებით მუშაობისათვის:

1. გადამთვლელ მოწყობილობასთან აირმრიცხველის ჩამრთველი მიმღებ-გადამწოდი ბლოკი БГC-3-ის შემაერთებელი ეკრანიჩებული კაბელის მისაერთებელი ბუდე.

2. ბუდე წარწერით — „გამოსავალი“, რომელიც განკუთვნილია ორი გადამთვლელი ხელსაწყოს პარალელურად მუშაობის დროს მისაერთებლად.

3. ბუდე წარწერით—„შემსვლელი“ +390 ± 20 ვოლტიანი ძაბვისათვის.

4. ქსელის შლანგი.

5. ცვლადი ქსელის ძაბვის გადამრთველი მკველით.

და ნ ა დ გ ა რ ი Б-3 ს ა მ უ შ ა ო დ მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა და ხ მ ა რ ე ბ ის წ ე ს ი. ცვლადი ქსელის ძაბვის გადამრთველს გადაერთავთ ელექტროგაყვანილობის ნომინალური ძაბვის მიხედვით. აირმრიცხველის ჩამრთველ მიმღებ-გადამწოდი БГC-3-ს მიეუერთებთ გადამთვლელ მოწყობილობას — ΠC-20. ბლოკი БГC-3-ის დამკერის საკონტაქტო ბუდეებში ჩავრთავთ აირმრიცხველს პოლარობის დაცვით. ამის შემდეგ ქსელის კაბელის შტეფსელის ჩანგალს მივუერთებთ

ცვლადი დენის ქსელის შტეფსელს. თითს ვაჭერთ მუშაობის გვარობის ერთ-ერთ კნოპს. ხელსაწყო ჩაირთვება ქსელში. დანადგარს ვაცდით გახურებას რამდენიმე წუთის განმავლობაში. ამის შემდეგ თითს ვაჭერთ კნოპს „ჩამოყრა“,—დეკატრონების ჩვენებას. ჩამოვყრით. ვაჭერთ კნოპს „შემოწმება“ და ვამოწმებთ გადამთვლილი სკემის მუშაობის სისწორეს.

გადამთვლელი ხელსაწყო (ПС-20) შემოწმების დროს მას ავტომატურად ეძლევა 50 ჰერცის სიხშირის ცვლადი დენი. ყველა დეკატრონის სწორად მუშაობის შემოწმების შემდეგ თითს ვაჭერთ კნოპს „გაჩერებას“. ამ დროს გადათვლა უნდა შეწყდეს. ამის შემდეგ თითს ვაჭერთ კნოპს „ჩამოყრა“, — დეკატრონების ჩვენება უნდა იყოს ნული. ხელსაწყო მზადაა მუშაობისათვის. მუშაობის დროს ბლოკი БГС-3-ში ჩართული აირმრიცხველის ქვემოთ ვათავსებთ გამოსაკვლევ რადიაქტიურ პრეპარატს, თითს ვაჭერთ კნოპს „ამუშავებას“. გადამთვლელი ხელსაწყო დაიწყებს მიღებული იმპულსების აღრიცხვას. ათვლისათვის საჭირო დროის გავლის შემდეგ თითს ვაჭერთ კნოპს „გაჩერებას“. გადათვლა წყდება, ვიღებთ ანათვალს და საერთო წესით ვანგარიშობთ პრეპარატის აქტივობას. თუ საჭიროა ორი გადამთვლელი ხელსაწყო პარალელური მუშაობა, მაშინ პირველი გადამთვლელი ხელსაწყოს უკანა პანელის ზედაპირზე მოთავსებულ ბუდეს წარწერით „გამოსავალი“ მივუერთებთ მეორე გადამთვლელ ხელსაწყოს დადებით „შემსვლელს“, ბლოკს ამოვრთავთ გადამთვლელ ხელსაწყოდან და მაღალვოლტიან გამმართველს კი მივუერთებთ ბლოკი БГС-3-ის ბუდეს წარწერით „+მაღ.“ და მუშაობას ვაგრძელებთ ინსტრუქციის თანახმად (მაღალვოლტიანი გამმართველი ხელსაწყოს კომპლექტში არ შედის). დეკატრონის კათოდებზე 8 საათზე მეტი ხნით არ უნდა იყოს მოდებული ძაბვა. ამიტომ ხელსაწყო მუშაობის დამთავრებისთანავე უნდა გამოვრთოთ, წინააღმდეგ შემთხვევაში უნდა ჩავატაროთ წვრთნა.

4. ბეტა-აქტივობის გასაზომი მცირეფონიანი დანადგარი УМФ-1500 М.

დანადგარი УМФ-1500М განკუთვნილია მცირე აქტივობის მქონე პრეპარატების რადიაქტივობის განსასაზღვრავად. იგი შედგება ПС-20 ტიპის გადამთვლელი მოწყობილობისაგან სასიგნალო კაბელე-ბითურთ და დამცავი კონტეინერისაგან აირმრიცხველების არმატურით და პრეპარატების მოსათავსებელი კარეტითურთ (ნახ. 38).

ვინაიდან ძირითადი ბლოკის ПС-20 ტიპის გადამთვლელი მოწყობილობა და მისი მუშაობა განხილულია დანადგარ Б-3-ის განხილვის

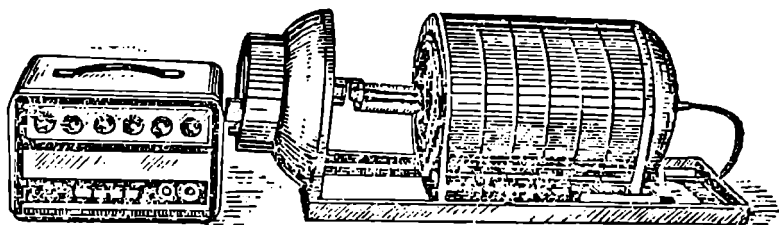
დროს, ამიტომ აქ ვიხილავთ მართო დანადგარ УМФ-1500 М-ის ტექნიკურ მონაცემებს.

გარეგანი γ -გამოსხივების გარეშე დანადგარის საკუთარი ზუნებრივი ფონი არ უნდა აღემატებოდეს:

- ა) СБТ-13 ტიპის მრიცხველით მუშაობისას 5 იმპულს/წუთში.
 - ბ) СТС-6 ტიპის მრიცხველით მუშაობისას 9 იმპულს/წუთში;
 - გ) СТС-5 ტიპის მრიცხველით მუშაობისას 3 იმპულს/წუთში;
 - დ) СТС-5 ტიპის 5 მრიცხველით მუშაობისას 18 იმპულს/წუთში;
- ПС-20 ტიპის გადამთვლელი მოწყობილობის თვლის სისწრაფე უდრის 3000 იმპულს/წუთში.

ხელსაწყო ნორმალურად მუშაობს $+5$ -დან $+35^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურის დიაპაზონში და გარემომცველი ჰაერის 80%-მდე შეფარდებითი ტენიანობის პირობებში. ხელსაწყო იკვებება 50 ჰერცის სიხშირისა და 110, 127 ან 220 ვოლტი ძაბვის მქონე ცვლადი დენის ქსელიდან მიწოდებული დენით. აღნიშნულ ტემპერატურის ინტერვალში და 50 ჰერცის სიხშირის ცვლადი დენის 10% ცვალებადობისას ხელსაწყოს თვლის ცდომილება არ აღემატება -5% -ს.

ხელსაწყოს კომპლექტი იწონის 300 კგ., ПС-20 ტიპის გადამთვლელი მოწყობილობა კი 10 კგ.



ნახ. 38. დანადგარი УМФ-1500 М .

დანადგარის მკირე ფონი უზრუნველყოფილია:

- ა) მინიმალური რადიოაქტივობის მქონე მრიცხველებისა და მასალების შერჩევით;
- ბ) გარეგანი გამა-გამოსხივებისაგან 50 მმ სისქის მქონე დამცავი ტყვიის ეკრანის გამოყენებით;
- გ) МС-6 ტიპის 17 ცალი პარალელურად ჩართული მრიცხველისაგან შემდგარი „ცილინდრული ხალიჩათი“, რომლებზე განლაგებულია გამომსხივეზღის სამუშაო დეტექტორის მრიცხველების ანტითანმთხვეულად.

ეს კი უზრუნველყოფს სწრაფი კოსმოსური ნაწილაკებით გამოწვეული ფონის შემცირებას შემდეგნაირად:

სწრაფი კოსმოსური ნაწილაკები ხვდება პარალელურად ჩართული ცილინდრული ხალიჩის მრიცხველებში და გაღლის გამომსხივეზღის სამუშაო დეტექტორში. ამ შემთხვევაში ანტითანდამთხვევის სქემის გამოსასვლელ კასკადში ხვდება საწინააღმდეგო პოლარობის ორი იმპულსი: ერთი 10 მიკროწამის ხანგრძლივობის, პატარა დადებითი იმპულსი გადაღის გამოჰსხივეზღის სამუშაო დეტექტორში, მეორე 200 მიკროწამის ხანგრძლივობის. დიდი უარყოფითი იმპულსი ხვდება ცილინდრული ხალიჩის ერთ-ერთ მრიცხველში. ამის გამო ცილინდრული ხალიჩის მრიცხველისა და გამომსხივეზღის მრიცხველის ერთდროულად ამუშაებისას ანტითანდამთხვევის სქემის გამოსასვლელში იმპულსები არ წარმოიქმნება. ამის შედეგად გამოჰსხივეზღის სამუშაო დეტექტორის საერთო ფონიდან გამოირიცხება სწრაფი კოსმოსური ნაწილაკების ფონი.

მხოლოდ გამომსხივეზღის სამუშაო დეტექტორის ამუშაებისას ანტითანდამთხვევის სქემის გამოსასვლელში წარმოიქმნება იმპულსები, რომლებიც აღირიცხება გადამთვლელი ხელსაწყოთი (ΠС-20).

ბლოკის კვება და ფორმირება წარმოებს ΠС-20 ტიპის გადამთვლელი ხელსაწოდან, რომელშიც ხდება აგრეთვე გამოსაკვლევი პრეპარატიდან მიღებული იმპულსების აღირიცხვა, რომლის მუშაობა განხილულია დანადგარ ნ-3 აღწერისას.

**რადიაქტიური ნივთიერებებით მოწამლული მყარი და
თხევადი მასალებიდან სინჯის აღება და მათი აქტივობის
განსაზღვრა¹**

1. რადიაქტიური მოწამვლის საორიენტაციო განსაზღვრა. რადიაქტიური მოწამვლის რაიონში რადიაციის დონის (დოზის სიმძლავრის) განსაზღვრასთან ერთად დიდი მნიშვნელობა აქვს საკვები პროდუქტების, წყლისა და სხვადასხვა ობიექტის რადიაქტიური მოწამვლის ხარისხის საორიენტაციო განსაზღვრას, რის საფუძველზე ადგილზე წყდება არა მარტო ის, თუ რა პროდუქტებიდან უნდა იქნეს აღებული სინჯი ლაბორატორიაში გამოსაცვლევად, არამედ ხშირად დგინდება მისი ვარგისიანობაც.

I. გამა-ფონის განსაზღვრა. განსაკუთრებით სხვადასხვა ობიექტისა და წყლის რადიაქტიური მოწამვლის გაზომვამდე საჭიროა წინასწარ გავზომოთ გამა-ფონი, რისთვისაც რენტგენომეტრ-რადიომეტრს ДП-5 მოვიყვანთ სამუშაო მდგომარეობაში, ხოლო ზონდის თავს კი გადავიყვანთ „I“ მდგომარეობაში; ზონდს დავიჭერთ 0,7—1 მეტრ სიმაღლეზე მიწის ზედაპირიდან, ამრეკლავი შენობებიდან კი 100 მეტრის, ხოლო გამოსაცვლევი ობიექტიდან არანაკლებ 15—20 მეტრის დაშორებით ჩავატარებთ გაზომვას და ავიღებთ ანათვალს. ასეთ გაზომვას ჩავატარებთ ერთმანეთისაგან 100 მეტრით დაშორებულ სამ სხვადასხვა წერტილზე. მიღებული რიცხვების საშუალო არითმეტიკული სიდიდე იქნება გამა-ფონი.

II. სხვადასხვა ობიექტის რადიაქტიური მოწამვლის გაზომვა. გამა-ფონის გაზომვის დროს ზონდს ვტო-

¹ ნიადაგის, წყლისა და მყარი და თხევადი რადიაქტიური სინჯების აბსოლუტური და ფარდობითი აქტივობის განსაზღვრის მეთოდები, რადიომეტრული და რადიოქიმიური განსაზღვრისათვის პრეპარატების მომზადება ვრცლად არის განხილული პირველ გამოცემაში: ა. კალანდია რადიოქიმიისა და დოზიმეტრიის საფუძვლები, 1964, გვ. 339—413.

ვებთ „Г“ მდგომარეობაში და მის თავს მივიტანთ გამოსაკვლევი ობიექტის ზედაპირთან. 1,0—1,5 სანტიმეტრის დაშორებით ვაწარმოებთ გაზომვას და ავიღებთ ანათვალს. მიღებულ რიცხვს (მილირენტგენ/საათი ან რენტგენ/საათი, იმის მიხედვით, თუ რომელ ქვედიაპაზონზე ჩავატარეთ გაზომვა) ვაკლებთ გამა-ფონის მნიშვნელობას; მიღებული სხვაობა იქნება გამოკვლეული ობიექტის ზედაპირული გამა-აქტივობა.

ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად მეორე გაზომვის ჩატარებისას ზონდის თავს „Г“ მდგომარეობიდან გადავიყვანთ „Б“ მდგომარეობაში, ჩავატარებთ გაზომვას, ავიღებთ ანათვალს და ვაკლებთ გამა-ფონის მნიშვნელობას. თუ ხელსაწყოს ორივე, ე. ი. ზონდის თავის „Г“ და „Б“ მდგომარეობას ჩატარებული გაზომვის შედეგი ერთნაირი აღმოჩნდა და ამავე დროს გამა-ფონს არ აღემატება, ეს იმის ნიშანია, რომ გამოსაკვლევი ზედაპირი არ არის მოწამლული. ასე ვაწარმოებთ საერთოდ საგნების, ნიადაგისა და სხვათა ზედაპირის რადიაქტიური ნივთიერებებით გაკუჭუკიანების გამოკვლევას. აირწინადის პირისახის ნაწილისა და ტანსაცმლის რადიაქტიური ნივთიერებებით გაკუჭუკიანება კი იზომება გაშლილი სახით, რაც შეეხება საკმლის გასაკეთებელ ქურკლებსა და სამზარეულოს მოწყობილობას, მათი რადიაქტიური გაკუჭუკიანების ხარისხი იზომება როგორც გარე, ისე შიგა ზედაპირიდან.

III. ადამიანის კანსაფარველის რადიაქტიური მოწამვლის გაზომვა. ადამიანის კანსაფარველის გაზომვას ვატარებთ ორჯერ. პირველ გაზომვას ვატარებთ ზონდის თავის „Г“ მდგომარეობისას, ხოლო მეორეს კი — „Б“ მდგომარეობისას. თუ ხელსაწყოს ჩვენება ორივე შემთხვევაში ერთი და იგივე იქნა, ეს ატომური აფეთქების ნახლეჩი პროდუქტების ორგანიზმის შიგნით მოხვედრის (ინკორპორირების) მაჩვენებელია. თუ ზონდის თავის ღია ფანჯრის შემთხვევაში (ე. ი. „Б“ მდგომარეობისას) ხელსაწყოს ჩვენება საგრძნობლად მაღალი აღმოჩნდა, ვიდრე დახურული ფანჯრის (ე. ი. „Г“ მდგომარეობის) შემთხვევაში, ეს იმას ნიშნავს, რომ ატომური აფეთქების ნახლეჩი პროდუქტები უშუალოდ ადამიანის კანის საფარველზეა დაღეჭილი. ასევე იზომება ცხოველების რადიაქტიური მოწამვლის ხარისხი.

IV. წყლის, თხევადი და ნახევრადთხევადი კონსისტენციის საკვები პროდუქტების მოწამვლის გაზომვა. გამოსაკვლევი წყლის, თხევადი და ნახევრადთხევადი კონსისტენციის (მცენარეული ზეთი, რძე, არაყანი, ტომატი და ა. შ.) საკვებს წინასწარ ჯულდასმით მოუჯრევთ, შემდეგ კი ვასხამთ 500 მლ მინის ქილაში ისეთი რაოდენობით, რომ მისი დონე იყოს არანაკლებ 15 სმ. რენტგენომეტრ-რადიომეტრი ДП-5-ის ზონდის თავს წამოვაც-

ვამთ პოლიეთილენის ან რეზინის თხელ შალითას და ჩავეშვებთ გამოსაკვლევ სითხეში 13—15 სმ სიღრმით. ამის შემდეგ ხელსაწყოს მიკროამპერმეტრიდან ავიღებთ ანათვალს მილირენტგენ/საათებში.

წყლის რადიაქტიური მოწამვლა შეიძლება კიდევ ასე განვსაზღვროთ: რენტგენომეტრ-რადიომეტრი ДП-5-ის ზონდის თავს ვაყენებთ „Г“ მდგომარეობაში და თუ წყლის სინჯის ასაღებად ვედრო იყო გამოყენებული, მაშინ ზონდის თავს ვათავსებთ ვედროს შუა ადგილას წყლის ზედაპირიდან 0,5—1 სმ დაშორებით, ავიღებთ ანათვალს, ვაკლებთ გამა-ფონის მნიშვნელობას; მიღებული სხვაობა იქნება წყლის მოწამვლის ხარისხი მილირენტგენ/საათში.

V. მყარი საკვები პროდუქტების რადიაქტიური მოწამვლის გაზომვა. ფქვილის, ხორციულის, ძხვეულის, თევზულობის, ბოსტნეულის და ა. შ. სინჯებს გულდასმით ვაქუცმაცებთ და ვათავსებთ 10×15 სმ ზომის ლითონის სპეციალურ აბაზანაში, თანაბრად ვანაწილებთ აქანდაზის საშუალებით. ამის შემდეგ მის ცენტრში ვათავსებთ ზონდის თავს ზედაპირიდან 1 სმ დაშორებით, ავიღებთ ანათვალს და ვაკლებთ გამა-ფონის მნიშვნელობას, რაც გვიჩვენებს მათი მოწამვლის ხარისხს.

VI. ალფა-გამომსხვეველი ნივთიერებებით ნოწამლული პროდუქტების გამოკვლევა. ალფა-აქტიური პროდუქტების გამოკვლევის შემთხვევაში წვრილად დაქუცმაცებულ გამოსაკვლევ სინჯს ვათავსებთ სპეციალურ კასეტაზე და ДП-100-АД-М ალფა-გადამწოდის ან ალფა-რადიომეტრი ДП-42-ის მრიცხველის ფანჯრის ქვემოთ მოთავსებულ კოლოფში ვსვამთ უვარამდე და შესაფერის ქვედიამეტრზე ვზომავთ გამოსაკვლევ პრეპარატის ალფა-აქტივობას.

რადიაქტიური მოწამვლის საორიენტაციო განსაზღვრა, გამა-რადიაციის დონის (გამა-ფონის) მიხედვით, ემყარება გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრისა და გამოსაკვლევი ობიექტის ატომური აფეთქების შეფარდებას რადიაქტიური პროდუქტებით მოწამვლის ხარისხთან და ამოიყენება ატომური აფეთქებიდან 30 დღის განმავლობაში.

2. საკვები პროდუქტებისა და წყლის სინჯის აღება. საკვებ პროდუქტებში, წყალსა და სხვათა სინჯებში რადიომეტრული, რადიოქიმიური ანალიზის მეთოდების ზწორად შერჩევასთან და პრეპარატის საანალიზოდ მომზადების წესების ზუსტად დაცვასთან ერთად სინჯის სწორად აღებას ერთ-ერთი გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს.

ყველა სახის სინჯის აღების წინ გამოკვლევული უნდა იქნეს რადიაციის დონე, ადგილმდებარეობის რადიაქტიური მოწამვლის ხარისხი,

საკვები პროდუქტების, ალაფანის (ფურაჟის) და სხვათა შენახვის პირობები, თუ რამდენად დაცულია ისინი რადიაქტიური მოწამვლისაგან. ამავე თვალსაზრისით უნდა იქნეს შესწავლილი წყლის სინჯის აღების ადგილები: განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, თუ რამდგომარეობაში იყვნენ ისინი ატომური აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი რადიაქტიური ღრუბლის გავლის დროს: დაილექა თუ არა მათ ზედაპირზე რადიაქტიური აეროზოლი და სხვ. ამასთან ერთად ადგილზე უნდა ჩავატაროთ მათი რადიაქტიური მოწამვლის ხარისხის განსაზღვრა რენტგენომეტრ-რადიომეტრ ДП-5-ით, ბეტა-გამა რადიომეტრ ДП-12-ით ან სხვა დოზიმეტრული ხელსაწყოთი, ზემოთ აღნიშნული რადიაქტიური მოწამვლის საორიენტაციო განსაზღვრის ანალოგიურად. თუ ფხვიერი საკვები პროდუქტების დიდი რაოდენობა ინახება ღია საცავეში ან კალოთ არის თავმოყრილი, მაშინ მათი მოწამვლის ზედაპირულ გამოკვლევასთან ერთად ქვედა ფენებშიც უნდა გამოვიკვლიოთ.

რენტგენომეტრ-რადიომეტრ ДП-5-ით ადგილზე წინასწარი გამოკვლევის შედეგად, თუ საკვები პროდუქტებისა და წყლის რადიაქტიური მოწამვლის ხარისხი 100-ჯერ მეტი აღმოჩნდა, ვიდრე ზღვრული დასაშვები ნორმაა, მაშინ მათგან სინჯს არ ავიღებთ. მაგალითად, თუ 1,5 ლ მოცულობის სასმელი წყლის აქტივობა, გაზომილი რენტგენომეტრ-რადიომეტრ ДП-5-ით, აღმოჩნდა 40 მილირენტგენ/საათი და მეტი, ან ტექნიკური მიზნისათვის გამოსაყენებელი წყლისა—400 მილირენტგენ/საათი და მეტი, მაშინ მათგან სინჯებს არ ავიღებთ, ვინაიდან მათთვის რადიაქტიური მოწამვლის ზღვრული დასაშვები ნორმაა 0,4 და 4,0 მილირენტგენ/საათი შესაბამისად.

სინჯს არ ავიღებთ დაუზიანებელ საწყობებში შენახულ პროდუქტებიდან, ჰერმეტიკულად დახურული დაუზიანებელი თუნუქის, მინის, პოლიეთილენის ქილებში ან ბოთლებში მოთავსებულ კონსერვებიდან, კომპოტიდან, სასმელებიდან და სხვა პროდუქტებიდან, რადგან ისინი დაცულია რადიაქტიური მტერით გაქუქყიანებისაგან.

სინჯს არ ავიღებთ აგრეთვე არტეზიული, რადიაქტიური აეროზოლის მოხვედრისაგან კარგად დაცულ შახტურ ქიდან, ჰერმეტიკულად დახურულ და დაუზიანებელ ჭურჭლებში შენახული წყლის მარაგიდან, რადგან ისინიც დაცულია რადიაქტიურ მტერისაგან:

ყველა დანარჩენ შემთხვევაში საკვები პროდუქტების, წყლისა და სხვათა სინჯს ავიღებთ ლაბორატორიაში გამოსაკვლევად.

ა) საკვები პროდუქტებიდან სინჯის აღება. საკვები პროდუქტების ყველა პარტიიდან¹ სინჯს ცალ-ცალკე ვიღებთ. მსხვილი შეფუთვის (ტომრები, ყუთები და ა. შ.) პარტიაში თუ შეფუთვათა რაოდენობა 10 ერთეულს არ აღემატება, მაშინ 30%-იდან ვიღებთ სინჯს. უფრო მეტი რაოდენობისას სინჯს არანაკლებ სამი ერთეულიდან ვიღებთ იმ შემთხვევაში, თუ რადიომეტრულმა გამოკვლევამ გვიჩვენა მათი თანაბრად გაქუქუყიანება, წინააღმდეგ შემთხვევაში უფრო მეტი რაოდენობიდან ვიღებთ სინჯს და უფრო მოწაპლულებიდან. ეს წესი ყველა სახის პროდუქტზე ვრცელდება.

ფხვიერი საკვები პროდუქტებიდან (ფქვილი, მარცვლეული, ბურღული, შაქრის ფხვნილი, მარილი და ა. შ.) სინჯებს ვიღებთ როგორც ზედა, ისე შუა და ქვედა ნაწილიდან (ძირიდან). სინჯის ასაღებად განკუთვნილი ცალკეული ტომრის ზედაპირზე (1 სმ სიღრმით) ლითონის სახვრეტი შეგვყავს და მოვატრიალებთ ისე, რომ სახვრეტის ნახვრეტი მოექცეს ზემოთ. ამის შემდეგ სახვრეტის თავი უფალ ბოლოს გადმოვხრით და 40—50 გრამის რაოდენობით მინის ქილაში, კალკის პოლიეთილენის ან ცელოფანის პარკებში ვყრით. ცალკეული პარტიიდან აღებული საშუალო სინჯის რაოდენობა რადიომეტრული გაზომვისათვის უნდა იყოს დაახლოებით 200 გ, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის—3 კგ-მდე.

თხევადი და ნახევრადთხევადი კონსისტენციის პროდუქტებიდან (რძის, კეფირის, მცენარეული ზეთის და ა. შ.) სინჯს ვიღებთ წინასწარ შორევის შემდეგ დიდი პიპეტკის ან სახეპელას საშუალებით რადიომეტრული განსაზღვრისათვის არანაკლებ 0,2 ლიტრის რაოდენობით, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის — 6 ლიტრამდე.

მყარი ცხიმეულიდან, ყველიდან და ა. შ. სინჯებს ვიღებთ სხვადასხვა ადგილიდან — ზედაპირიდან 1 სმ სისქით დანით მოჭრის საშუალებით, რადიომეტრული გაზომვისათვის 100—150 გ რაოდენობით, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის 2—3 კგ-მდე.

ცხოველებისა და ფრინველების ხორციდან სინჯს ვიღებთ კუნთის ზედაპირიდან 1 სმ სისქით, რადიომეტრული გაზომვისათვის არანაკლებ 100 გ რაოდენობით. თუ შესაძლებელია, ღვიძლიდანაც იმავე რაოდენობით, რადიოქიმიური ანალიზისათვის 3 კგ-მდე.

ძებნეულის სინჯს ვიღებთ ცალკეული პარტიებიდან რადიომეტრული გაზომვისათვის 100—200 გ, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის 3 კგ ოდენობით.

¹ პარტიაში იგულისხმება ერთი და იგივე სახისა და ერთი და იგივე პირობებში შენახული პროდუქტი ან ერთსა და იმავე დროს გადამამუშავებული და ერთდროულად მიღებული პროდუქტი.

კარტოფილის, ბოსტნეულისა და ხილეულის სინჯს ვიღებთ სხვადასხვა ადგილიდან. თითოეული საშუალო სინჯი რადიომეტრული გაზომვისათვის უნდა იყოს 0,5 კგ, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის — 6 კგ-მდე.

საცალო პურის სინჯს რადიომეტრული გაზომვისათვის ვიღებთ ქთლიანი ნაკეთობის სახით, ასაწონი პურიდან—მთელი პური ანახევარს, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის — 3 კგ.

დაბრიკეტებული ალაფანიდან, კომბინირებული საკვებიდან და ა. შ. სინჯს ვიღებთ რადიომეტრული გაზომვისათვის 1 კგ-მდე, რადიოქიმიური ანალიზისათვის 2 კგ-ს. მწვანე ბალახიდან სინჯს ვიღებთ რადიომეტრული გაზომვისათვის 2 კგ-მდე, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის 5 კგ-მდე.

ადვილად ხრწნადი პროდუქტები (თევზეული, ძეხვეული...) უნდა დაკონსერვდეს 4—5%-იანი ფორმალინის ხსნარში გაელენთილი მარლის რამდენიმე ფენის შემოხვევით ან პერმეტულად დახურულ ქილებში, რომლებშიც პროდუქტია მოთავსებული, დებენ 40%-იან ფორმალინის ხსნარში გაელენთილ ბამბის დიდ ტამპონს.

ბ) წყლის სინჯის აღება. წყლის სინჯს ვიღებთ ღია წყალსატევებიდან და დაუცველი ჭებიდან.

წყალსადენის ონკანებიდან წყლის სინჯის აღებამდე მილებში მდგარ წყალს ვუშვებთ 5 წუთის განმავლობაში. ამის შემდეგ წყლის სინჯს ვაგროვებთ მინის ან პოლიეთილენის ბოთლებში, ბოთლებს წინასწარ რამდენიმეჯერ გამოვავლებთ გამოსაკვლევ წყალს. წყლის თითოეული სინჯი რადიომეტრული გაზომვისათვის უნდა ავიღოთ 0,5 ლიტრის რაოდენობით, ხოლო რადიოქიმიური ანალიზისათვის კი საჭირო რაოდენობით — 20—100—200 ლიტრამდე. ჭებიდან და სხვა საცალებიდან წყლის სინჯს ვიღებთ სუფთა ვედროთი, ღია წყალსატევებიდან — ზონარმობმული და სიმძიმეჩამოკიდებული ბოთლების ან სპეციალური ხელსაწყოების საშუალებით.

ნიადაგის სინჯის აღების დროს, თუ მარტო მიწის ზედაპირის რადიოაქტიურ გაქუჩყიანებას ვიკვლევთ, მაშინ უშუალოდ ზედაპირიდან 0,5 სმ სისქით და 10×10 სმ ფართით ამოვკრით გრუნტს სუფთა დანით ან ნიჩბით.

თითოეულ სინჯს ეტიკეტზე სათანადო წარწერის გაკეთების შემდეგ ვაგზავნით ლაბორატორიაში გამოსაკვლევად.

სინჯის აღებისა და მისი შეფუთვის დროს უნდა იქნეს დაცული უშიშროების წესები. საჭიროებისას სინჯის ამღებმა უნდა გამოიყენოს ინდივიდუალური დაცვის საშუალებანი.

**საქელი ფენის მქსპრეს მეთოდით ხვედრითი აქტივობის
განსაზღვრა**

სქელი ფენის მეთოდით ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრა ალფა-და ბეტა-გამომსხივებელი იზოტოპებით გაქუჟყიანებული სინჯებისა ემყარება იმას, რომ ალფა-ნაწილაკებს მცირე შეღწევადობის უნარი აქვთ. ამიტომ თუ სინჯი ალებულ იქნა ალფა-ნაწილაკების შეღწევა-დობისათვის საჭიროზე მეტი სისქით, მაშინ პრეპარატის ზედაპირის ფართობის ერთეულიდან დროის ერთეულში ამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების რაოდენობა პრეპარატის ხვედრითი აქტივობისა და სინჯის მასალაში ალფა-ნაწილაკების შეღწევადობაზე დამოკიდებული პრო-პორციულობის კოეფიციენტის ნამრავლის ტოლია.

რაც შეეხება ბეტა-ნაწილაკებს, მიუხედავად იმისა, რომ ბეტა-ნაწილაკებს უფრო დიდი შეღწევადობის უნარი აქვთ, ვინემ ალფა-ნაწილაკებს, შთანთქმელ ფენებში გავლისას მათი ინტენსიურობაც თანდათან მცირდება და საბოლოოდ ამოსხივება ხდება მუდმივი. ამრი-გად, ხვედრითი აქტივობის ექსპრეს მეთოდით განსაზღვრას საფუძე-ლად უდევს ის, რომ გამოსაკვლევ სინჯში, რომელშიც აქტივობა თა-ნაბრად არის განწილებული, მისი ზედაპირიდან ბეტა- ან ალფა-ნაწი-ლაკების გამოსხივება დასაწყისში სინჯის სისქის ზრდასთან ერთად იზრდება, ხოლო გარკვეულ სისქემდე მიღწევის შემდეგ კი მუდმივი ხდება (ბეტა-ნაწილაკებისათვის პრეპარატის სისქე უნდა იყოს 6—10 მმ, ხოლო ალფა-ნაწილაკებისათვის 1—2 მმ); ასეთი პრეპარატებზე სქელფენიანია. მაშასადამე, გამოსხივების წყაროს სქელფენიანი ეწო-დება, თუ გამოსხივების ინტენსივობა პრეპარატის ფენის შემდეგი გა-ზრდისას არ მატულობს. სქელი ფენის ექსპრეს მეთოდის უპირატესო-ბა თხელი ფენის მეთოდთან შედარებით იმაში მდგომარეობს, რომ პრეპარატის დამზადებისას გამოსაკვლევ ნივთიერების აწონვა საჭი-რო არ არის. გარდა ამისა, ის არ მოითხოვს დანაცრებას და აორთქ-

ლებას, რასაც ჩვეულებრივად დიდი დრო სჭირდება. ამრიგად, იგი მარტივია და საკმაოდ ზუსტი, განსაკუთრებით მცირე აქტივობის შემთხვევაში.

1. ექსპრეს მეთოდით განსაზღვრისათვის გამოსაკვლევი სინჯების წინასწარი დამუშავება. გამოსაკვლევად მიღებული სინჯების შენახვას და საანალიზოდ მომზადებას ეწარმოებთ ცალკე ოთახში, რომელშიაც უნდა იყოს სამუშაო მაგიდა, კარადა, წყლის ონკანი, კანალიზაცია, სინჯის გასარეცხი მოწყობილობა და ა. შ.

ლაბორატორიაში მოტანილი საკვები პროდუქტების სინჯი ისე უნდა დავამუშავოთ, როგორც მას ამუშავებენ საქმლის მომზადების წინა პერიოდში (პირველ ეტაპზე).

ბოსტნეულის (ძირნაყოფა და ბოლქვიანი) სინჯებს ვასუფთავებთ მიწისაგან და ვრეცხავთ ონკანის ქვეშ (ე. ი. გამდინარე წყლით). შემდეგ კი ვაცლით ქერქს და გადავავლებთ წყალს.

კომბოსტოს ზედა ფოთლებს მოვაცილებთ და ვრეცხავთ ონკანის ქვეშ. ხორციელის, მწვანილეულობისა და ხილის სინჯებს უშუალოდ ვრეცხავთ ონკანის ქვეშ.

თევზეულის სინჯს მოვაცილებთ ქერცლს, ძეხვეულისას გარსაცმს, ყველისას კი პარაფინის ფენას (თუ ასეთი აქვს). ამის შემდეგ მათ ვრეცხავთ ონკანის ქვეშ.

როგორც ზემოაღნიშნული წესით წინასწარ დამუშავებულ, ისე გამოსაკვლევად მიღებულ ყველა სხვა სინჯს, რომლებსაც დამუშავება არ სჭირდებათ (ფქვილი, შაქრის ფხვნილი, შაქარი, მარილი, წყალი, რძე და ა. შ.), გულმოდგინედ მოეურევთ ან ერთმანეთში აეურევთ და ავილებთ საშუალო სინჯს საჭირო რაოდენობით, მათ წვრილად ვაქუცმაცებთ დანით ან ხორცსააქეპში გატარებით.

2. სქელი ფენის მეთოდით ბეტა-აქტიური პრეპარატის მომზადება და მისი აქტივობის განსაზღვრა. სქელი ფენის მეთოდით ბეტა-აქტივობის განსაზღვრის შემთხვევაში ავილებთ 36 მმ დიამეტრისა და 10 მმ სიღრმის მქონე ალუმინის სპეციალურ კიუვეტს, მასში კოვზის ან ნიჩბის საშუალებით ვყრით ზემოაღნიშნული წესით დამუშავებულ გამოსაკვლევი სინჯს გავსებამდე, თანაბრად ვასწორებთ და ვტკეპნით; ჩატკეპნილი სინჯის სისქე უნდა იყოს 8—9 მმ. გამოსაკვლევი თხევადი პროდუქტებისა და წყლის სინჯს წინასწარ გულდასმით მორევის შემდეგ ვასხამთ ისეთივე კიუვეტში, დაახლოებით 8 მმ სისქით. დამზადებულ სინჯებს ვნომრავთ, დავხურავთ ქალაღლით და ფრთხილად გადავიტანთ რადიომეტრულ ოთახში ხვედრითი აქტივობის განსასაზღვრავად.

სინჯის ნაშის ვინახავთ გამოკვლევის დამთავრებამდე, რადგან შეიძლება საჭირო შეიქნეს პრეპარატის ხელახალი დამზადება პარალელური გაზომვისათვის. გაზომვის დამთავრების შემდეგ სინჯის ნაშის და თვით კიუვეტზე დატანილ სინჯს ვყრით სახურავიან ვედროში და შემდეგ კი მისთვის განკუთვნილ ადგილას.

ნახმარ კიუვეტებს ვუკეთებთ დეზაქტივაციას მარილმჟავას 5—10%-იან ხსნარში დასველებული ბამბის ტამპონებით გაწმენდის ან ამავე ხსნარით გარეცხვის საშუალებით და გამოხდილი წყლის გადავლებით. უკიდურეს შემთხვევაში დეზაქტივაციას ვაკეთებთ სუფთა წყლით გარეცხვის საშუალებით. ამის შემდეგ კიუვეტების ხელახალი გამოყენება დაშვებულია.

სქელი ფენის ექსპრეს მეთოდით ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრის მსვლელობა. პრეპარატის აქტივობის განსაზღვრას ვატარებთ დეკალურ-მრიცხველ დანადგარ $ДП-100$ -ით, რომელშიც უნდა იყოს ჩართული $МСТ-17$ ტიპის ტორსული მრიცხველი, დანადგარი $ДП-100$ განხილვის დროს აღნიშნული წესით კი მთვლელ ბლოკ-სქემის მუშაობის სისწორე—შემოწმებული, და აგრეთვე მრიცხველის ვოლტამპერული მახასიათებელი დადგენილი. ამის შემდეგ მუშაობას ვაწარმოებთ შემდეგი თანმიმდევრობით:

ბუნებრივი ფონის განსაზღვრა. ა) ბუნებრივი ფონის განსაზღვრის დროს ტყვიის სახლის საჭირო საცილოზე ვათავსებთ სუფთა კიუვეტიან საჭერელას, ელექტრომექანიკურ მრიცხველის კნოპზე თითის დაჭერით ვაყენებთ მას ნულოვან მდგომარეობაში.

ბ) დანადგარ $ДП-100$ მივუერთებთ დენის წყაროს, აპარატს ჩაერთავთ და ვაცდით გახურებას 3—5 წუთის განმავლობაში. ამის შემდეგ თითს ვაჭერთ საათ-წამმზომის მარჯვენა კნოპს, რითაც წამმზომს და გადამთვლელ მოწყობილობას ავამუშავებთ. ვამუშავებთ მანამ, ვიდრე გადამთვლელი ხელსაწყო არ აღრიცხავს არანაკლებ 1000 იმპულსს, რის შემდეგ საათ-წამმზომის იმავე (მარჯვენა) კნოპზე თითის დაჭერით გადამთვლელ მოწყობილობას და საათ-წამმზომს ამოვრთავთ (ვაჩერებთ) და ავიღებთ ანათვალს. მიღებულ რიცხვს ვყოფთ გაზომვის დროზე—წუთებში და მივიღებთ იმპულსების რაოდენობას 1 წუთში.

ფონის გაზომვის შემდეგ საათ-წამმზომის იმავე კნოპზე თითის დაჭერით ნეონის ნათების ჩვენებას ჩამოვყრით, ხოლო ელექტრომექანიკური მრიცხველის კნოპზე თითის დაჭერით კი მას ვაყენებთ ნულზე.

გ) ფონის განსაზღვრის დროს გამოყენებულ სუფთა კიუვეტს გამოვიღებთ ტყვიის სახლიდან; მის ნაცვლად $МСТ-17$ ტიპის მრიცხვე-

ლის ქვემოთ ვათავსებთ გამოსაკვლევ პრეპარატიან კიუვეტს, ისე რომ, კიუვეტზე მოთავსებულ შიგთავსის ზედაპირიდან მრიცხველის ფანჯარამდე მანძილი იყოს 8—9 მმ. ამის შემდეგ ფონის განსაზღვრის ანალოგიურად დანადგარ ДП-100-ის გადამთვლელ მოწყობილობას საათწამმზომის მარჯვენა კნოპზე თითის დაჭერით ავაშუშავებთ. ფონის განსაზღვრის დროსთან შედარებით, დაახლოებით 2-ჯერ ნაკლები ხნის განმავლობაში (~5 წუთის განმავლობაში) ვატარებთ პრეპარატის აქტივობის გაზომვას არანაკლებ 2-ჯერ. თუ ამ ორი გაზომვის შედეგები დიდად განსხვავებული იქნება, მაშინ მესამეჯერ ვატარებთ გაზომვას. აქედან ავიღებთ ორი, უფრო თანდამთხვეული იმპულსის რიცხვს და მათი საშუალო არითმეტიკული სიდიდის მიხედვით გავიანგარიშებთ გამოსაკვლევი პრეპარატის ხვედრით აქტივობას მიკროკიური/კგ-ში ან სითხეების შემთხვევაში მიკროკიური/ლ-ში, შემდეგი ფორმულით:

$$A = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot (n - m) \text{ მიკროკიური/კგ, მიკროკიური/ლ, (4—1)}$$

სადაც A არის გამოსაკვლევი პრეპარატის ხვედრითი აქტივობა;

n — გამოსაკვლევი პრეპარატიდან მიღებული თვლის სისწრაფეა, იმპულს/წუთი;

m — ბუნებრივი ფონის თვლის სისწრაფეა, იმპულს/წუთი.

მაგალითი: ვთქვათ, ბუნებრივი ფონის გაზომვა ჩავატარებთ 30 წუთის განმავლობაში და მივიღეთ 1125 იმპულსი. აქედან აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობა 1 წუთში იქნება:

$$m = 1050 : 30 = 35 \text{ იმპულს/წუთი.}$$

ხოლო გამოსაკვლევი ფქვილისაგან დამზადებული პრეპარატის აქტივობის გაზომვა ჩავატარებთ 5 წუთის განმავლობაში და მივიღეთ 3725 იმპულსი. აქედან აღრიცხულ იმპულსთა რაოდენობა 1 წუთში იქნება:

$$n = 3725 : 5 = 745 \text{ იმპულს/წუთი.}$$

ამ მონაცემების მიხედვით, გამოსაკვლევი პრეპარატის ხვედრითი აქტივობა A, გაანგარიშებული (4—1) ფორმულის მიხედვით, უდრის: $A = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot (745 - 35) = 9,23$ მიკროკიური/კგ.

გამოკვლეული ფქვილის ვარგისიანობის დადგენა წარმოებს გაზომვის შედეგად მიღებული აქტივობის ფქვილისათვის დასაშვებ ზღვრულ ნორმასთან შედარებით.

ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად წარმოებს როგორც ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრა, ისე მისი გაანგარიშება ყველა სხვა პროდუქტისა და წყლის სინჯების გამოკვლევის შემთხვევაში.

3. სქელი ფენის მეთოდით ალფა-გამომსხივებელი ნივთიერებებით მოწამლული ჭინჭებიდან პრეპარატების მომზადება და მათი აქტივობის განსაზღვრა. ვინაიდან ალფა-ნაწილაკებს მცირე შეღწევალობა

ახასიათებთ, ამიტომ გამოსაკვლევი სინჯი წინასწარ უნდა დაენაცროთ.

გამოსაკვლევი სინჯის გულმოდგინედ მორევის შემდეგ მისგან ეილებზე საშუალო სინჯს, ვწონით და გადავიტანთ წინასწარ აწონილ ფაიფურის ტიგელში და აზბესტის თხელფურცელდაფარებულ ელექტროქურაზე ფრთხილად ვახურებთ დანახშირებამდე აუალებრივ. შემდეგ გადაგვაქვს არა უმეტეს 400°C ტემპერატურამდე გახურებულ მუფელის ლუმელში და ვანაცრებთ თეთრი ან ნაცრისფერის მიღებამდე.

ტიგელს დანაცრებული ნაშთითურთ ექსიკატორში გადავიტანთ და ვაცივებთ. ვაცივების შემდეგ ვწონით და ვგებულობთ ნაცრის წონას. ავიღებთ წინასწარ აწონილ 36 მმ დიამეტრისა და 1—2 მმ სიღრმის მქონე ალუმინის მრგვალ კიუვეტს, მასში ვყრით გამოსაკვლევ სინჯიდან მიღებულ ნაცარს 0,7—1 მმ სისქით, ვწონით და ვგებულობთ კიუვეტზე დატანილ ნაცრის წონას.

თხევადი პროდუქტებისა და წყლის სინჯებიდან პრეპარატების მომზადების შემთხვევაში ვიღებთ ფაიფურის ტიგელს და მასში ვყრით წვრილმარცვლოვან არყის ხის გააქტივირებულ ნახშირს 0,5 გ რაოდენობით. მას ვასველებთ ეთილის სპირტით, ვუმატებთ 2 მლ გამოსაკვლევ სითხეს და აზბესტის თხელფურცელდაფენილ ელექტროქურაზე ვაორთქლებთ. აორთქლების შემდეგ კიდევ ვუმატებთ 2 მლ სითხეს და ვაორთქლებთ. აორთქლების ამ ოპერაციას ყოველ ჯერზე 2 მლ დამატებით ვიმეორებთ საერთო ჯამში 10 — 20 მლ აორთქლებამდე. აღნიშნული რაოდენობით სითხის აორთქლების შემდეგ ნახშირს ტიგელშივე ვაქუცმაცებთ. ამის შემდეგ ნახშირის მთლიანი რაოდენობის ნახევარს (ე. ი. 2,5 გ) გადავიტანთ მრგვალ კიუვეტზე და თანასწორად ვანაწილებთ.

თხევადი პროდუქტებისა და წყლის სინჯიდან პრეპარატი შეიძლება მოვამზადოთ ასე: ავიღებთ წინასწარ აწონილ კიუვეტს და მასში ვასხამთ გამოსაკვლევ სითხეს, თანდათანობით დამატების წესით ვაორთქლებთ 10—20 მლ რაოდენობით, ვწონით და ვგებულობთ მშრალი ნაშთის წონას.

თხევადი პროდუქტებისა და წყლის სინჯის ასეთი მცირე რაოდენობით აორთქლების შედეგად მიღებული პრეპარატების ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრის ეს მეთოდი გამოიყენება მხოლოდ მაღალი აქტივობის სინჯების შესწავლა-გამოკვლევისას. წინააღმდეგ შემთხვევაში დიდი რაოდენობით უნდა მოხდეს სითხეების აორთქლება, მშრალი ნაშთის დანაცრება და ნაცრიდან კი სქელი ფენის მეთოდით პრეპარატების მომზადება.

ალფა-აქტიური პრეპარატების აქტივობის გაზომვა. დანადგარ ДП-100-АД-М მიუერთებთ ალფა-გადამწოდს და ზემოაღნიშნული წესით მოვიყვანთ სამუშაო მდგომარეობაში. პრეპარატის აქტივობის გაზომვის წინ ვსაზღვრავთ ბუნებრივ ფონს ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად. ხანგრძლივად მუშაობის შემთხვევაში კი ყოველ საათში ერთხელ ვზომავთ ბუნებრივ ფონს. ფონის გაზომვის შემდეგ გამოსაკვლევ პრეპარატიან კიუვეტს ვათავსებთ ალფა-გადამწოდის სპეციალურ თაროს ფოსოში და თაროს შევწევთ უვარამდე. ამ დროს პრეპარატიანი კიუვეტი მოთავსდება ფოტოელექტრული გამამრავლებლის ლუმინეფორის ქვეშ (ცენტრში), შემდეგ კი ფოსოს ქვემოთ მოთავსებული ხრახნის ბრუნვის საშუალებით პრეპარატს მიკუთხლრვებთ ლუმინეფორს. თითს ვაჭერთ საათ-წამმზომის მარჯვენა კნოპს, რითაც წამმზომს და დანადგარის გადამთვლელ მოწყობილობას ავამუშავებთ. გაზომვას ვატარებთ 3—5 წუთის განმავლობაში და ავიღებთ ანათვალს. მიღებულ იმპულსებს რიცხვს ვყოფთ გაზომვის დროზე წუთებში და მივიღებთ იმპულს/წუთებში. ხვედრითი აქტივობის გაანგარიშებას ვაწარმოებთ შემდეგი ფორმულით:

$$A = 10^6 \frac{(n' - m) \cdot M_2}{K \cdot M \cdot M_1 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ კიური/კგ (ლ),} \quad (4-2)$$

სადაც A — გამოსაკვლევი პრეპარატის ხვედრითი აქტივობა;

n — პრეპარატიდან მიღებული იმპულსების რიცხვი წუთში ფონითურთ;

m — ფონის გაზომვის დროს მიღებული იმპულსების რიცხვი წუთში;

M — პრეპარატის დასამზადებლად აღებული ნაცრის (ან ნაშუარის) წონა გრამებში;

M₁ — საანალიზოდ აღებული ნედლეული სინჯის წონა გრამებში;

M₂ — საანალიზოდ აღებული ნედლეულის სინჯიდან მიღებული ნაცრის მთლიანი წონა გრამებში;

K — კოეფიციენტი არის იმპულს/წუთების * დაშლა/წუთებში გადასაყვანი მამრავლი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობები ალფა-

გამომსხივებელი სინჯებისათვის მოცემულია მე-5 ცხრილში;

2,22 · 10¹² — დაშლა/წუთების კიურებში გადასაყვანი მამრავლი.

მაგალითი: ვთქვათ, საანალიზოდ აღებული 50 გ (M₁) ხორცის დანაცრების შედეგად მივიღეთ ნაცარი 2 გ (M₂). კიუვეტზე დავიტანეთ 0,850 გ ნაცარი (M). ბუნებრივი ფონიდან მიღებული თვლის სისწრაფე

$$n = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ იმპულს/წუთში; პრეპარატიდან მიღებული თვლის სის-}$$

წრათე $n = \frac{45}{5} = 9$ იმპულს/წუთში; K — კოეფიციენტი, მე-4 ცხრილის მიხედვით, ხორცისათვის უდრის 5,59.

ცხრილი 5

№№ რიგ.	ნიეთერება	K -კოეფიციენტი
1	ნახშირზე დატანილი სითხეების სინჯი (ნახშირი)	3,46
2	ფურის, ფქვილის ნაწარმის, მარცელუელი პროდუქტების ნაცარი	5,57
3	ხორცის ნაცარი	5,59
4	ლორის ქონის ნაცარი	5,56
5	თევზეულობის ნაცარი	5,90
6	კარტოფილის ნაცარი	6,04
7	დაწნილებული კომბოსტოს ნაცარი	6,11
8	სხვა სახის ნაკეები პროდუქტებისა და ალფინას (ფურაქის) ნაცარი	5,70
9	შ ა ქ ა რ ი	3,59
10	მ ა რ ი ლ ი	5,50

ამ მონაცემების მიხედვით გამოსაკვლევი ხორცის აქტივობა, კიუ-რი/კგ ფორმულით გაანგარიშებული, უდრის:

$$A = 10^6 \frac{(n-m) \cdot M_2}{K \cdot M \cdot M_1 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = 10^6 \frac{(9-1,5) \cdot 2}{5,59 \cdot 0,850 \cdot 50 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ კიური/კგ.}$$

გამოსაკვლევი ხორცის ვარგისიანობის დადგენა წარმოებს გაზომვის შედეგად მიღებული აქტივობის ხორცისათვის დასაშვებ ზღვრულ ნორმასთან შედარებით.

ჩვენ აქ მხოლოდ სქელი ფენის მეთოდით ხვედრითი აქტივობის გამსაზღვრავზე შევჩერდით იმიტომ, რომ ატომური აფეთქების ნახლელი პროდუქტების საშუალო ენერგია, აფეთქებიდან ერთ წლამდე, დაახლოებით უდრის 0,3 მილიონელექტრონვოლტს, რაც სრულიად აკმაყოფილებს ზემოაღნიშნული (4—1, 4—2) ფორმულით ხვედრითი აქტივობის გაანგარიშებას. გარდა ამისა, მასობრივი ანალიზების სწრაფად ჩატარებისა და შედეგების დაუყოვნებლივ გამოყენებისას სხვა უფრო ზუსტი მეთოდების გამოყენება არა მარტო დიდ დროს მოითხოვს, არამედ მთელ რიგ სიძნელებთანაც არის დაკავშირებული.

რადიოქიმიური ანალიზის მეთოდები

1. საკვები პროდუქტებისა და სხვა ბიომასალების სინჯების დანაცრება. მყარი ბიომასალების (ბიოსუბსტრატის, საკვები პროდუქტების, ალათანისა და სხვა მცენარეული თუ ცხოველური წარმოშობის მასალების) ზემოაღნიშნული წესით მომზადებისა და საშუალო სინჯის საჭირო რაოდენობით აღების შემდეგ მათ დანაცრებას ვაწარმოებთ ასე: გამოსაკვლევად გარკვეულ წონითი რაოდენობით აღებულ და დაქუცმაცებულ საშუალო სინჯს ვათავსებთ წინასწარ მუდმივ წონამდე დაყვანილ, აწონილ სუფთა ფაიფურის ტიგელში ან ფინჯანში და ვაშრობთ საშრობ კარადაში 105° ტემპერატურაზე. შემდეგ მშრალ ნაშთს ვასველებთ კონცენტრული აზოტმჟავათი და პერჰიდროლით (3:1). მოვურევთ მინის წკირით და ვახურებთ აზბესტის თხელ ფურცელდაფარებულ ელექტროქურაზე ან ქვიშის აბაზანაზე დანახშირებამდე აუალებლივ. შემდეგ კი გადაგვაქვს მუფელის ლუმელში და ვანაცრებთ 400° ტემპერატურაზე 2 საათის განმავლობაში. ამ დროს თუ იგი მთლიანად არ დანაცრდა — შავი წერტილები დარჩა, გამოგვაქვს მუფელის ლუმელიდან და ოთახის ტემპერატურამდე გაცივების შემდეგ ზელახლა ვიმეორებთ ზემოაღნიშნულ პროცესს მანამ, ვიდრე მთლიანად არ დანაცრდება.

მცენარეული წარმონაშობი მასალების დანაცრება შედარებით ადვილად მიმდინარეობს. ამიტომ აზოტმჟავისა და პერჰიდროლის დაუმატებლადაც შეიძლება ჩავატაროთ მათი დანაცრება ზემოაღნიშნული წესით.

ტიგელს დანაცრებულნი ნაშთითურთ ექსიკატორში ვდგამთ და გაცივების შემდეგ ვწონით და ვგებულობთ მთლიანი ნაცრის წონას.

ნიადაგის სინჯის დანაცრებას ვაწარმოებთ ტუნიაზობის გაგებას შემდეგ.

რადიომეტრული გაზომვისათვის თხელი ან სქელფენიან პრეპარატს ვამზადებთ ზემოთ აღნიშნულ წესით და ვსაზღვრავთ მის ხედვრით აქტივობას.

დანაცრებული სინჯიდან რადიოიზოტოპების გადაყვანა ხსნარში. საკვები პროდუქტებისა და ზემოაღნიშნული სხვა ბიომასალების, ნიადაგის, ატმოსფერული ნალექების, ნაცრისა და წყლის მშრალი ნაშთის რადიოქიმიური ანალიზისათვის საკირო პლატინის ტიგლებს და სხვათა უქონლობის შემთხვევაში დანაცრებულ სინჯიდან რადიოიზოტოპების გადაყვანას ხსნარში ვაწარმოებთ მჟავებით ამოწვილების საშუალებით, რაც უზრუნველყოფს 95%-ზე მეტი რაოდენობით თითოეული იზოტოპის ამოწვილვას.

დანაცრებულ სინჯიდან რადიოიზოტოპების გადაყვანა ხსნარში მოცემულია სათანადო მეთოდების განხილვისას.

2. სტრონციუმ-90 განსაზღვრა ოქსალატის მეთოდით და საკირო სარჩულ ხსნარების დამზადება. სტრონციუმის სარჩულ ხსნარის დამზადება. SrCl_2 —სტრონციუმქლორიდის 17, 2219 გ ან $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ სტრონციუმნიტრატის 25, 9078 გ, ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ მოგვეცემს 200 მკ SrSO_4 -ს.

იტრიუმის სარჩულ ხსნარის დამზადება. YCl_3 —იტრიუმქლორიდის 5.5507 გ ან $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$ —იტრიუმნიტრატის 6,6608 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ მოგვეცემს 60 მკ Y_2O_3 -ს.

ცეზიუმის სარჩულ ხსნარის დამზადება. CsCl —ცეზიუმქლორიდის 1,55 გ ან CsNO_3 —ცეზიუმნიტრატის 1,7567 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ მოგვეცემს 60 მკ $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{O}_9$ -ს.

ლანთანიუმის სარჩულ ხსნარის დამზადება. LaCl_3 —ლანთანიუმქლორიდის 7,0747 გ ან $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ —ლანთანიუმნიტრატის 8,4896 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ მოგვეცემს 60 მკ La_2O_3 -ს.

ნაცრის გახსნა მჟავების საშუალებით. 1. ზემოაღნიშნული წესით დანაცრებული საკვები პროდუქტებისა და სხვა ბიომასალების 10—20 გ, ხოლო მცენარეულ სინჯების ნაცარს 5—10 გ (აქტივობიდან გამომდინარე) ვათავსებთ შესაფერისი მოცულობის ცეცხლგამძლე ქიმიურ ჭიქაში, ვუმატებთ ზემოაღნიშნულ სარჩულ ხსნარებს თითო მილილიტრის რაოდენობით. ამის შემდეგ ვუმატებთ 6N მარილმჟავას 200—250 მლ რაოდენობით და ფრთხილად ვადულებთ აირნათურაზე ან ელექტროქურაზე 30 წუთის განმავლობაში; დუღილის დაწყების წინ ვუმატებთ 3—4 წვეთ წყალბადის ზეიანგს.

მეორეჯერ კი—15 წუთის შემდეგ. ადულების დაწყებიდან 30 წუთის გავლის შემდეგ ქიქას გადმოვდგამთ, თუ ნაცარი მთლიანად არ გაიხსნა, ვაცდით გაუხსნელი ნაწილის ჩამოლექვამდე და დეკანტაციის წესით ვფილტრავთ. ნალექს ხელახლა ვუმატებთ 200—250 მლ 6N მარილმყავას და ვადულებთ 30 წუთის განმავლობაში და დეკანტაციის წესით ვფილტრავთ. ნალექს ვუმატებთ 100—150 მლ ცხელ წყალს და ვადულებთ 15 წუთის განმავლობაში. ამ ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ. ნალექს ვავდებთ, ფილტრავთ კი შემდეგი ანალიზისათვის გამოიყენება.

2. გამოსაკვლევი სინჯი თუ დიდი რაოდენობით შეიცავს სილიციუმს, მაშინ ვიქცევით ასე: ნაცარს ვათავსებთ შესაფერისი მოცულობის ფაიფურის ფინჯანში, ვუმატებთ სარჩულ ხსნარებს, ვასველებთ კონცენტრული მარილმყავათი, ედგამთ ადულებულ წყლის აბაზანაზე და ვაორთქლებთ სიმშრალემდე მუდმივი მორევის ქვეშ. მშრალ ნაშთს ხელახლა ვასველებთ კონცენტრული მარილმყავათი, ვაორთქლებთ წყლის აბაზანაზე მორევის ქვეშ. ამის შემდეგ მშრალ ნაშთს გადავიტანთ ცეცხლგამძლე ქიმიურ ჭიქაში და ფინჯანზე დარჩენილ ნაწილს იმავე ჭიქაში ჩავრეცხავთ 6N მარილმყავათი, კრდე ვუმატებთ 6N მარილმყავას 250 მლ-მდე და ნაცრის დაშლას ვახდენთ ზემოაღნიშნული წესით.

3. ფილტრატს (ხსნარს) ვუმატებთ 4—10 გრამამდე მყაუნმყავას (ნაცრის რაოდენობიდან გამომდინარე), მოვეურევთ მინის წკირით მყაუნმყავას გახსნამდე. შემდეგ, ენერგიულად მორევის ქვეშ, წვეთწვეთობით ვუმატებთ 25%-იან ამიაკს PH-1,5 (უნივერსალური ინდიკატორიული ქაღალდით). ვაცდით თეთრი კრისტალური ნალექის ჰიქის ფსკერზე გამოლექვამდე, რასაც დაახლოებით 30 წუთი სჭირდება. ამის შემდეგ ვამოწმებთ დალექვის სისრულეს, რისთვისაც ჰიქის კედელზე გაყოლებით ვუმატებთ მყაუნმყავას ნაჯერ ხსნარს 1 მლ რაოდენობით. თუ ამ დროს გამჟვეირვალე ხსნარში ნალექი არ წარმოიშვა, საკმარისად ყოფილა მიმატებული დამლექავი (ე. ი. მყაუნმყავა). წინააღმდეგ შემთხვევაში, ვიმეორებთ ამ ოპერაციას.

ოქსალატების ნალექს ვფილტრავთ, ნალექს ვრეცხავთ მცირე რაოდენობის 2%-იანი მყაუნმყავა ამონიუმის ცივი ხსნარით. თუ ამავე სინჯიდან გათვალისწინებულია ცეზიუმ-137-ის განსაზღვრაც, ფილტრატს ვინახავთ.

4. ნალექს გადავიტანთ ქიმიურ ჭიქაში და ვხსნით მინიმალური რაოდენობის კონცენტრულ მარილმყავათი გაცხელების ქვეშ. ამის შემდეგ განვაზავებთ 2N-მდე (დაახლოებით ნაჯერ განვაზავებთ წყლით).

ვფილტრავთ ფილტრის ქალაღის ნარჩენების მოცილების მიზნით და ვრეცხავთ 2N მარილმჟავათი. ნალექს ვაგდებთ.

5. ფილტრატს ვუმატებთ 2—5 გ მჟაუნმჟავას, მოვერევეთ მინის წკირით მჟაუნმჟავას გახსნამდე. შემდეგ ენერგიულად მორევის ქვეშ წვეთ-წვეთობით ვუმატებთ 25%-იან ამიაკს PH-1,5-მდე და ვაცლით ნალექის ჰიქის ფსკერზე გამოლექვამდე.

6. ვფილტრავთ, ნალექს ვრეცხავთ მცირე რაოდენობის 2%-იანი მჟაუნმჟავა ამონიუმის ცივი ხსნარით. ფილტრატს ვადავასხამთ, ნალექს მთლიანად ვადავიტანთ მუდმივ წონამდე დაყვანილ ფაიფურის ტიგელში. ვაშრობთ საშრობ კარადაში 105° ტემპერატურაზე ან ინფრაწითელი ნათურის ქვეშ.

7. გაშრობილ ოქსალატების ნალექს ვათავსებთ მუფელის დუმელში და 500—600° ტემპერატურაზე ვახურებთ 1 საათის განმავლობაში. ნალექს ვხსნით მჟავაში იმის მიხედვით, თუ რომელი მეთოდით ვითვალისწინებთ სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრას. ტრიბუტილ-ფოსფატი (სამხანაგელებულ ბუტილფოსფორმჟავა ეთერით) ექსტრაჰირების მეთოდის შემთხვევაში ნალექს ვხსნით ვაცხელების ქვეშ შესაძლო მცირე მოცულობის კონცენტრულ აზოტმჟავაში ან საჭირო მოცულობის ცხელ 2N მარილმჟავაში. თუ ნალექი მთლიანად არ გაიხსნა, ვუმატებთ რამდენიმე წვეთ წყალბადის ზეჟანგს და ვადუღებთ CO₂-ის მოცილებამდე.

იტრიუმის გამოყოფა და გასუფთავება კალიუმსულფატისა და ლანთანის სულფატის ორმაგი მარილების საშუალებით.

8. ხსნარს ვანზავებთ გამოხდილი წყლით 200—250 მილილიტრამდე. ვაცხელებთ ადუღებამდე და ვუმატებთ CO₂-ის არშემცველ ამიაკს იტრიუმისა და ლანთანის ჰიდროქსიდების სახით მთლიანად გამოლექვამდე.

ჰიდროქსიდების ნალექს ვფილტრავთ და ვრეცხავთ რამდენიმე წვეთი დამატებული CO₂-ის არშემცველი ამიაკიანი მცირე რაოდენობის ცხელი წყლით 2—3-ჯერ.

ჰიდროქსიდების გამოყოფის დროს (რიცხვს და საათს) ჩავიწერთ, თუ სტრონციუმ-89 განსაზღვრა ვათვალისწინებულა, ფილტრატს ვინახავთ.

9. იტრიუმისა და ლანთანის ჰიდროქსიდების ნალექს ვხსნით მცირე მოცულობის (20—25 მლ) 2 N ცხელ მარილმჟავაში, ვაცივების შემდეგ ვუმატებთ წვრილად დაქუცმაცებულ კალიუმის სულფატს გაჯერებამდე. ვტოვებთ ლანთანისა და კალიუმსულფატის ორმაგი მარილების ჰიქის ფსკერზე დალექვამდე და მის ზემოთ ხსნარის გამკვირვა-

ლედ გახდომამდე, რასაც დაახლოებით 30 წუთი სჭირდება. შემდეგ ვფილტრავთ და ჩაერეცხავთ კალიუმის სულფატით გაჭერებულ $2N$ მარილმჟავათი (ნალექში რჩება: ცერიუმ-141, 144, ლანთან-140 და პრომეთიუმ-147). ნალექს ვაგდებთ.

10. ფილტრატს განვაზავებთ წყლით 200 მილილიტრამდე. ვაცხელებთ ადუღებამდე და იტრიუმს ვლექავთ იტრიუმის ჰიდროქსიდის სახით CO_2 -ის არშემცველი ამიაკის მიმტებით. ვფილტრავთ, ნალექს ვრეცხავთ რამდენიმე წვეთ დამატებულ CO_2 -ის არშემცველი ამიაკიანი წყლით 2—3-ჯერ. ფილტრატს ვაგდებთ. ნალექს (ე. ი. იტრიუმის ჰიდროქსიდს) კი ვხსნით 20—25 მლ $2N$ ცხელ მარილმჟავით. ამის შემდეგ იტრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარს ვუმატებთ მის მიერ დაკავებული მოცულობის ნახევარ რაოდენობის მჟაუნმჟავის მადლარ ხსნარს და CO_2 -ის არშემცველ ამიაკს PH-1,5-მდე, ვფილტრავთ და ვრეცხავთ 2—3-ჯერ. იტრიუმოქსალატის ნალექს გადავიტანთ მუდმივ წონამდე დაყვანილ ფიფურის ტიგელში, ვაშრობთ საშრობ კარადაში. შემდეგ გადავიტანთ მუფელის ლუმელში და $900 - 1000^\circ$ ტემპერატურაზე ვავარვარებთ 30—60 წუთის განმავლობაში. ექსიკატორში ვაცივებთ და ვწონით: სინჯიანი ტიგელის და ტიგელის წონის სხვაობით ვგებულობთ დამატებულ სარჩულიდან მიღებულ სარჩულ-გამოსავლის წონას გრამებში. ნალექს კი ტიგელშივე მინის წკირით ვაქტუცმაცებთ და გადავიტანთ წინასწარ აწონილ კიუვეტზე („სამიზნეზე“). ნალექს თანასწორად ვანაწილებთ, ვწონით და ზუსტად ვგებულობთ კიუვეტზე დატანილი იტრიუმის ქანგის წონას. თვლის სისწრაფეს ვზომავთ სამი დღის განმავლობაში 24—24 საათის ინტერვალებში. შემდეგ კი გამოყოფილი იტრიუმს-90-ის რადიოაქტიური სისუფთავის დადგენის მიზნით 14 დღის გავლის შემდეგ კიდევ ვსაზღვრავთ მის აქტივობას (მე-14 დღისათვის იტრიუმ-90 უნდა დარჩეს 98%-ის რაოდენობით). თუ პირველი გაზომვისა და მე-14 დღეზე გაზომვის შედეგად მიღებული თვლის სისწრაფე 2%-ზე მეტი აღმოჩნდა, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ სინჯში ყოფილა იტრიუმ-91-იც. მაშინ პირველი გაზომვისას მიღებულ თვლის სისწრაფეს უნდა გამოვაკლოთ იტრიუმ-91-დან მიღებული თვლის სისწრაფე და მივიღებთ იტრიუმ-90-ის მიერ პირველი გაზომვისას მოცემულ თვლის სისწრაფეს.

იტრიუმ-90-ის აქტივობიდან სტრონციუმ-90-ის აქტივობა გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$A = \frac{(n-m) \cdot K \cdot M_2 \cdot M_4 \cdot 10^3}{M_1 \cdot M_3 \cdot M_5 \cdot e^{-\lambda t} \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ კიურ./კგ.} \quad (4-3)$$

სადაც A გამოსაკვლევი პრეპარატის ხევედრიოი აქტივობაა;

II—პრეპარატიდან მიღებული იზუღსების რიცხვი წუთში ბუნებრივი ფონისუთ;

III—ბუნებრივი ფონის გაზომვის დროს მიღებული იზუღსების რიცხვი წუთში;

K—კოეფიციენტი არის იმპულს/(წუთების დაშლა)/წუთებში გადასაყვანი მამრავლი;

M₁—საანალიზოდ აღებული ნედლეულ სიჩქის წონა გრამებში;

M₂—საანალიზოდ აღებული ნედლეულ სიჩქიდან მიღებული ნაჯრის მთლიანი წონა გრამებში;

M₃—საანალიზოდ (ამოწერ ღვისაჯვის) აღებული ნაჯრის წონა გრამებში;

M₄—დამატებული სარჩულის წონა გრამებში;

M₅—კიუვეტზე („სამიზნეზე“) დაჯანილი ნაჯრის (სარჩულ გამოსავლის) წონა გრამებში;

e^{-λt}—რადიოიზოტოპის (მოცემულ შემთხვევაში იტრიუმ-90-ის) დაშლასთან დაკავშირებული ცდომილების შესწორების კოეფიციენტი; მოცემული იზოტოპის გამოყოფის მომენტიდან აქტივობის გაზომვამდე განვლილ დროში, სადაც:

e—ნატურალური ლოგარითმის ფუძეა (e = 2,714);

λ—მოცემულ რადიოიზოტოპის დაშლის სიჩქარის მუდმივეა, იტრიუმ-90-ისათვის ის უდრის 0,0108 r⁻¹;

t—იტრიუმ-90-ის გამოყოფის (ტრიბუტილფოსფატით განსახლერის შემთხვევაში) პირველი ორგანული ფაზის გამოყოფის მომენტიდან პრეპარატის თელის სისწრაფის გაზომვამდე განვლილი დრო (იტრიუმის დაგროვების დრო); გაიანგარიშება გალოგარითმების ან e^{-λt} მნიშვნელობის მონახვით რადიოიზოტოპების დაშლისა და დაგროვების ცხრილში (ცხ. დანართი 4);

10³—გრამების კილოგრამებში გადასაყვანი მამრავლი;

2,22 · 10¹²—დაშლა/წუთების კიურებში გადასაყვანი მამრავლი.

თუ ლაბორატორიაში არა გვაქვს ლანთანის მარილი სარჩულ ხსნარის დასამზადებლად, მაგრამ გვაქვს ტრიბუტილფოსფატი, მაშინ იტრიუმის შემცველ კონცენტრულ აზოტმეკავას ხსნარიდან იტრიუმში შეიძლება გამოვყოთ ტრიბუტილფოსფატით ექსტრაქირების საშუალებით. ამისათვის მე-7 მუხლით მიღებულ, 500—600°-ზე განანურებ ნალექს ვხსნით ისეფ რაოდენობის კონცენტრულ აზოტმეკავაში, რაც სპირთა კალციუმით გაჯერებულ ხსნარის მისაღებად. შემდეგ კი ტრი-

ბუტილფოსფატით იტრიუმის ექსტრაქცირებას ვაწარმოებთ რძისა და ძვლის ნაცრის კონცენტრული აზოტმეყავის ხსნარიდან იტრიუმის ექსტრაქცირებისა და განსაზღვრის ანალოგიურად.

3. სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა ტრიბუტილფოსფატით ექსტრაქცირების მეთოდით. კალციუმნიტრატის აზოტმეყავის ხსნარიდან სტრონციუმ-90-ის ნაშიერ ელემენტ იტრიუმ-90-ის ექსტრაქცირება ტრიბუტილფოსფატით უფრო ძლიერად მიმდინარეობს, ვიდრე ურანის ნაზღუეჩი სხვა პროდუქტებისა. ამიტომ სტრონციუმ-90-ის რადიოქიმიურ განსაზღვრას ადამიანისა და ცხოველების ძვლების, კბილების, რძისა და სხვათა ნაცარში საფუძვლად უდევს საკვლევი სინჯის ნაცრის აზოტმეყავას ხსნარიდან იტრიუმ-90-ის ექსტრაქცირება (გამოხსნარება) ტრიბუტილფოსფატის საშუალებით: ექსტრაქცირებული იტრიუმ-90-ის აქტივობის მიხედვით კი — მასთან წონასწორობაში მყოფ სტრონციუმ-90-ის აქტივობის განსაზღვრა, აქტივობიდან კი მათი წონითი რაოდენობის გაგება.

ყოველგვარ სინჯში შეიძლება სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა იტრიუმ-90-ის მიხედვით საანალიზოდ სინჯის ალებიდან 14 დღის შემდეგ, ე. ი. სტრონციუმ-90-ის დაშლის პროდუქტი იტრიუმ-90-ის დაგროვების (რადიოაქტიური წონასწორობის დამყარების) შემდეგ, გამონაკლისს წარმოადგენს ის სინჯები (მაგალითად, რძის ფხვნილი, ადამიანთა და ცხოველთა ძვლები და სხვ.), რომლებშიც ისინი უკვე იმყოფებიან რადიოაქტიურ წონასწორობაში და მათში იტრიუმის მიხედვით სტრონციუმის განსაზღვრა სინჯის ალებისთანავე შეიძლება. განსაზღვრისათვის საკურო ხსნარებისა და რეაქტივების დამზადება იტრიუმის სარჩული ხსნარი მზადდება ზუსტად ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად.

12 N აზოტმეყავას ხსნარის დამზადება. 12 N აზოტმეყავას 1 ლიტრი ხსნარის დასამზადებლად საზომ ცილინდრით ვიღებთ კონცენტრულ $d=1,42$ აზოტმეყავას 749,9 მლ, ვათავსებთ 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში და ნიშნაკამდე შევავსებთ გამოხდილი წყლით.

2,5 N აზოტმეყავას ხსნარის დამზადება. 2,5 N აზოტმეყავას 1 ლიტრი ხსნარის დასამზადებლად საზომი ცილინდრით ვიღებთ კონცენტრულ $d=1,42$ აზოტმეყავას 156,2 მლ, ვათავსებთ 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში და ნიშნაკამდე შევავსებთ გამოხდილი წყლით.

გასარეცხი ხსნარის დამზადება. კონცენტრულ აზოტმეყავაში ვყრით ამონიუმ-ნიტრატს (NH_4NO_3) გაჯერებამდე, კარგად შენჯღრევის ქვეშ.

კალციუმის ნიტრატის ნაჭერი ხსნარის დამზადება. 2,5 N აზოტმეცავში ვერით $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ გაჭერებამდე, კარგად შენჯღრევის ქვეშ.

ნატრიუმის კარბონატის 2%-იანი ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 20 გ ქიმიურად სუფთა, უწყლო Na_2CO_3 . ვათავსებთ 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში. ვუმატებთ გამოხდილ წყალს, კარგად შევანჯღრევთ, პრეპარატის გახსნის შემდეგ კოლბას ნიშნაკამდე შევავსებთ გამოხდილი წყლით.

ნატრიუმის ტუტის 0,1%-იანი ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 0,2 ქიმიურად სუფთა NaOH , ვათავსებთ 200 მლ საზომ კოლბაში. ვუმატებთ გამოხდილ წყალს. კარგად შევანჯღრევთ. პრეპარატის გახსნის შემდეგ კოლბას ნიშნაკამდე შევავსებთ გამოხდილი წყლით.

ბრომკრეზოლმეწამულის ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 0,1 გ ბრომკრეზოლმეწამულის ფხვნილს. ვათავსებთ 100 მლ საზომ კოლბაში. ვუმატებთ 0,1%-იან ნატრიუმის ტუტის ხსნარს 1,45 მლ რაოდენობით, პრეპარატის გახსნის შემდეგ კოლბას ნიშნაკამდე შევავსებთ გამოხდილი წყლით.

ტრიბუტილფოსფატის გასუფთავება. ავიღებთ საჭირო მოცულობის (50 ან 100 მლ) ტრიბუტილფოსფატს. ვათავსებთ გამყოფ ძაბრში და ვუმატებთ იმავე მოცულობის 2%-იანი ნატრიუმის კარბონატის ხსნარს. ელექტრომწვანეფელის საშუალებით ვანჯღრევთ 2—3 წუთის განმავლობაში ან ხელით 1—2 წუთის განმავლობაში, ვამაგრებთ შტატივზე პერპენდიკულარულ მდგომარეობაში ტრიბუტილფოსფატისა და წყალხსნარის ფაზების გაყოფამდე. შემდეგ გამყოფი ძაბრიდან წყალხსნარს (ქვედა ფენას) გამოვუშვებთ. ამის შემდეგ ვრეცხავთ ორჯერ; ტრიბუტილფოსფატის მოცულობის, 60—70°-მდე გაციხელებული გამოხდილი წყლით; ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად (ნჯღრევით და ფაზების გაყოფის შემდეგ წყლის ფენის გამოშვებით).

წონასწორული ტრიბუტილფოსფატის დამზადება. გასუფთავებულ ტრიბუტილფოსფატს გამყოფ ძაბრში ვუმატებთ იმავე მოცულობის კალციუმის ნიტრატით გაჭერებულ 2,5 N აზოტმეცავს და ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად ვანჯღრევთ 2—3 წუთის განმავლობაში. ფაზების გაყოფის შემდეგ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -ით გაჭერებულ 2,5 N აზოტმეცავს ხსნარის ფენას (ქვედა ფენას) გამოვუშვებთ. ამ ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ. ნახმარ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -ით გაჭერებულ 2,5 N აზოტმეცავს ხსნარს ვინახავთ ხელახლა გამოსაყენებლად, მის გაჭერებულობას დროდადრო ვამოწმებთ.

ტრიბუტილფოსფატის რეგენერაცია (აღდგენა). ნახმარ ტრიბუტილფოსფატს ჩაეასხამთ გამყოფ ძაბრში. ვუმატებთ იმავე მოცულობის გამოხდილ წყალს: და ვანჯღრევთ 2—3 წუთის განმავლობაში ტრიბუტილფოსფატისა და წყლის ფაზების გაყოფის შემდეგ. წყლის ფაზას გამოვუშვებთ. ამ ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ. ტრიბუტილფოსფატის ფაზას გამყოფ ძაბრში ვუმატებთ 2%-იანი ნატრიუმის კარბონატის ხსნარს, ვანჯღრევთ 2 წუთის განმავლობაში. ფაზების გაყოფის შემდეგ ნატრიუმის კარბონატის ხსნარს (ქვედა ფენას) გამოვუშვებთ. ამის შემდეგ ვრეცხავთ გამოხდილი წყლით მანამ, ვიდრე განარეცხი წყალი არ გახდება ნეიტრალური. ამრიგად, რეგენირებულ ტრიბუტილფოსფატს მოვიყვანთ წონასწორულ. მდგომარეობაში, რისთვისაც მას ვუმატებთ ტრიბუტილფოსფატის მოცულობისვე კალციუმის ნიტრატით გაჭერებულ 2,5 N აზოტმჟავას და ვანჯღრევთ 2—3 წუთის განმავლობაში. ფაზების გაყოფის შემდეგ აზოტმჟავიან ხსნარის ფენას (ქვედა ფენას) გამოვუშვებთ. ამ ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ, რის შემდეგ იგი მზად არის ხელახლა გამოსაყენებლად.

რძეში და ძვალში ტრიბუტილფოსფატით სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრის მსვლელობა. 1. თუ თელის სისწრაფეს ვზომავთ მცირეფონიან დანადგარზე, მაშინ საანალიზოდ ვიღებთ 2—3 ლიტრ რძეს (ან 350—400 გ რძის ფხვნილს), ხოლო თელის სისწრაფის განსაზღვრისათვის მაღალფონიან დანადგარის გამოყენებისას არანაკლებ 5 ლიტრისა. საანალიზოდ განკუთვნილ რძეს ვათავსებთ ასორთქლებელ ფაიფურის ფინჯანში, ვუმატებთ 1—2 მლ ძმარმჟავას და ფრთხილად ვაცხელებთ აზბესტის თხელფურცელდფარებულ ელექტროქურაზე ან ქვიშის, აბაზანაზე სქელი კონსისტენციის მასის მიღებამდე. შემდეგ კი აზბესტის ფურცელს ვაშრობთ და ვახურებთ დანახშირებამდე, ვაცივებთ და დანაცრების დაჩქარების მიზნით ვასველებთ მორევის ქვეშ კონცენტრულ აზოტმჟავით და პერჰიდროლით (3:1) და ისევ ვახურებთ ელექტროქურაზე დამატებულ მჟავას ასორთქლებამდე. შემდეგ კი გადაგვაქვს მუფელის ღუმელში და ვანაცრებთ 800—900° ტემპერატურაზე 2 საათის განმავლობაში. ამ დროს თუ იგი მთლიანად არ დანაცრდა და რუხი ფერის იქნა ან შავი წერტილები დარჩა, ხელახლა ვაგრძელებთ ვახურებას სრულ დანაცრებამდე.

ასე წარმოებს დანაცრება მცენარეული ზეთის, პამიდორის წველის და სხვა თხევადი ბიოსუბსტრატებისა, ძმარმჟავას დაუმატებლად.

2. ძვლის დანაცრების შემთხვევაში ვიქცევით ასე: ძვალს ვასუფთავებთ ხორცისა და ძვლის ტენინისაგან, ვამტვრევთ და ზუსტად აწონილ რაოდენობას ვათავსებთ წინააწარ აწონილ კვარცის ან ფაიფურის ფინჯანში და სრულ დანაცრებას ვაწარმოებთ რძის მშრალ ნაშთის დანაცრების ჩატარების წესის ზუსტად დაცვით და ანალოგიურად.

3. მიღებული რძის ან ძვლის ნაცარს ფაიფურის ფილაში დაწვრილმანების შემდეგ ზუსტად 5—10 გ რაოდენობით ვათავსებთ ცეცხლგამძლე ქიმიურ ქიქაში, ეუმატებთ 1 მლ ზემოაღნიშნული იტრიუმის სარძულეს 1 მლ რაოდენობით, რაც მოგვცემს 60 მგ იტრიუმის ქანგს (V_2O_5). ამის შემდეგ ნაცარს ეასხამთ კონცენტრულ (12N) აზოტმკვედს რძის ნაცრის ყოველ გრამზე 5 მლ, ხოლო ძვლის ნაცრის ყოველ გრამზე 4,2 მლ რაოდენობით, ვანუტრებთ მუდმივი მორევის ქვეშ შინის წვირის საშუალებით, ნაცრის გახსნამდე.

4. მიღებულ ნაცრის ხსნარს ფრთხილად ეუმატებთ კალციუმის ქანგს (CaO) რძის ნაცრის გასახსნელად, აღებული აზოტმკვედის ყოველ მილილიტრზე 180 მგ რაოდენობით, ხოლო ძვლის ნაცრის შემთხვევაში 120 მგ რაოდენობით¹, და ხელახლა ვანუტრებთ კალციუმის ქანგის მთლიან გახსნამდე. ზოგჯერ რძის ნაცრის ხსნარი გაუმჟკვირვალეა, მაშინ ეუმატებთ 20—30 მლ გამობნდილ წყალს და მივიღებთ გამჟკვირვალე ხსნარს.

5. ხსნარი მთლიანად გადაგვაქვს შესაფერისი მოცულობის გამყოფ ძაბრში (ან მიღესილ საცობიან ცენტრიფუგის სინჯარაში). რძის აქტივობის განსაზღვრის შემთხვევაში გამოსავალი ხსნარის ერთნახევარ მოცულობის წონასწორულ ტრიბუტილფოსფატს (ე. ი. ერთი მოცულობა გამოსავალი ხსნარი და 1,5 მოცულობა ტრიბუტილფოსფატი) ეუმატებთ, ხოლო ძვლის აქტივობის განსაზღვრისას კი ზუსტად გამოსავალი ხსნარისვე მოცულობის წონასწორულ ტრიბუტილფოსფატს ეუმატებთ და ელექტრომწკრეველის საშუალებით ვანჭრევთ 10 წუთის განმავლობაში ან ზელით 3—5 წუთის განმავლობაში. ვამაგრებთ შტატივზე პერპენდიკულარულად და ვტოვებთ 30 წუთის განმავლობაში წყლისა და ტრიბუტილფოსფატის ფაზების გაყოფამდე. ორივე ფაზა უნდა იყოს გამჟკვირვალე. ამის შემდეგ წყლის ფენას (ქვედა ფენას) გამოვუშვებთ და ამ პირველი ორგანული ფაზის (ტრიბუტილფოსფატის ფაზის) გამოყოფის დროს (ე. ი. სტრონციუმ-90-საგან იტრიუმ-90-ის გამოყოფის დროს) ჩავიწერთ. ამ ოპერაციას ვატა-

¹ ძვლის ნაცარს შეიძლება კალციუმის ქანგი არ დაემატოს, რადგან ძვალი 15% კალციუმს შეიცავს.

რებთ ორჯერ (ე. ი. გამოშვებული წყლის ფენას ვასხამთ მეორე გამყოფ დაბრში, ხელახლა ვუმატებთ წონასწორული ტრიბუტილფოსფატის ახალ პორციას, ვანჭლრევთ, ვაყოვნებთ და ფაზებს ერთმანეთისაგან ვაშორებთ). ამ მეორე ორგანულ ფაზასაც ვასხამთ იმავე გამყოფ დაბრში, რომელშიაც ასხია პირველი ორგანული ფაზა და ვრეცხავთ გაერთიანებული ორგანული (ტრიბუტილფოსფატის) ფაზის ნახევარ მოცულობის ამონიუმნიტრატით გაჯერებულ კონცენტრულ აზოტმე-ვათი. გამრეცხავ ხსნარს ($\text{HNO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$) გადავასხამთ. გარეცხვის ამ ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ.

6. გაერთიანებული ტრიბუტილფოსფატის ფაზიდან ამოწვილავთ იტრიუმს $60-70^\circ$ ტემპერატურაზე გაცხელებულ გამოხდილ წყლით. ერთი ამოწვილისათვის გამოყენებული წყლის მოცულობა ტრიბუტილფოსფატის ფაზის მოცულობის ნახევარი უნდა იყოს. ამოწვილვას ამ ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ. ექსტრაქტს (წყლის ფაზას) ერთსა და იმავე ჭიქაში ვასხამთ.

7. ექსტრაქტს (წყლის ფაზას) ვუმატებთ ბრომკრეზოლმეწამულის რამდენიმე წვეთს და ნახშირორჟანგის არშემცველ ამიაკს მანამ, ვიდრე ხსნარის ყვითელი შეფერვა არ გადავა მკაფიო იისფერში. ამ დროს იტრიუმი რაოდენობრივად ილექება იტრიუმის ჰიდროქანგის სახით. მისი კოაგულირების მიზნით ხსნარს მსუბუქად ვათბობთ წყლის აბაზანაზე. შემდეგ კი ვფილტრავთ უნაცრო ფილტრში გატარებით.

8. იტრიუმის ჰიდროქანგის ნალექი გადაგვაქვს მუდმივ წონა-მდე დაყვანილ და აწონილ ტიგელში, ვაშრობთ, ვათავსებთ მუფე-ლის ლუმელში და 900° -მდე ვავარვარებთ (ვანაცრებთ) მუდმივ წონის მიღებამდე. მიღებულ იტრიუმის ქანგს (Y_2O_3) ვაცივებთ ექსიკა-ტორში და ვწონით იტრიუმის სარჩულის გამოსავლის გაგების მიზნით.

9. მიღებული იტრიუმის ქანგი, თუ ეს შესაძლებელია, მთლიანად გადაგვაქვს წინასწარ აწონილ კიუვეტზე („სამიზნეზე“) და ვწონით. სინჯიანი კიუვეტისა და კიუვეტის წონის სხვაობით ვგებულობთ კიუ-ვეტზე დატანილ ნაცრის (სარჩულის) წონას გრამებში. და მცირეფო-სიან ($0,5-1,5$ იმპულს/წუთში) დანადგარზე ვზომავთ მის აქტივობას (თვლის სისწრაფეს). გაზომვის დროს ჩაეიწერთ; გაზომვას ვატარებთ იმდენჯერ, რაც საჭიროა დაშლის მრუდის ანალიზისათვის.

სტრონციუმ-90-ის ზვედრით აქტივობას გაცინჯარიშვებთ შემდეგი

$$\text{ფორმულით: } A = \frac{(n-m) \cdot K \cdot M_2 \cdot M_4}{M_3 \cdot M_5 \cdot V \cdot e^{-\lambda t} \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ კიური Sr}^{90} \text{ (ლიტრ რძე-}$$

ში) (4-4). საღვც v —საანალიზოდ აღებული რძის (საერთოდ, სითხე-

ებისა და წყლის) შოცულობაა ლიტრებში. დანარჩენ აღნიშნებს იგივე მნიშვნელობა აქვთ, რაც (4—3) ზორმულაში ჰქონდათ.

ძვალში სტრონციუმ-90-ის ხვედრითი აქტივობის გაანგარიშებას ვაწარმოებთ ზემოთ მოცემული (4—3) ფორმულით.

მაგალითი: განვიხილოთ იტრიუმ-90-ის და შესაბამისად სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრის კონკრეტული მაგალითი. ვთქვათ, საანალიზოდ აღებული 40 გ (M_1) ძვლის დანაცრების შედეგად მივიღეთ ნაცარი 22 გ (M_2); საანალიზოდ (ამოწვილებისათვის) აღებული ნაცარის წონა (M_3) უდრის 20 გ; დამატებული იტრიუმის სარჩულის წონა (M_4) უდრის 0,06 გ იტრიუმის ეანგზე გადაანგარიშებით; ანალიზის შედეგად მიღებული და კიუვეტზე („სამიზნეზე“) დატანილი იტრიუმის ეანგის (სარჩულის გამოსავლის) წონაა 0,055 გ (M_5); აქტივობის (თვლის სისწრაფის) გაზომვა ჩავატარებთ მცირე ფონიან დანადგარზე; ბუნებრივი ფონიდან მიღებული თვლის სისწრაფე $m=1,5$ იმპულს/წუთში; პრეპარატიდან მიღებული თვლის სისწრაფე $n=14,5$ იმპულს/წუთში; კოეფიციენტი $K=6$; იტრიუმ-90-ის გამოყოფის მომენტიდან პრეპარატის აქტივობის გაზომვამდე განვლილი დრო $t=5,5$ საათს. ე. ი.

$$\lambda y^{00t} = \frac{0,693 \cdot 5,5}{64,2} = 0,06.$$

ამ მონაცემების მიხედვით, გამოსაკვლევ ძვალში სტრონციუმ-90-ის ხვედრითი აქტივობა (შესაბამისად იტრიუმისა), ზემოაღნიშნული ფორმულით (4—3) გაანგარიშებული, უდრის:

$$A = \frac{(n-m) \cdot K \cdot M_2 \cdot M_4 \cdot 10^3}{M_1 \cdot M_3 \cdot M_5 \cdot e^{-\lambda t} \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = \frac{(14,5-1,5) \cdot 6 \cdot 22 \cdot 0,06 \cdot 10^3}{40 \cdot 20 \cdot 0,055 \cdot e^{-0,06 \cdot 5,5} \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} =$$

$$= \frac{(14,5-1,5) \cdot 6 \cdot 22 \cdot 0,06 \cdot 10^3}{40 \cdot 20 \cdot 0,055 \cdot 0,959 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ კიური/კგ.}$$

$\lambda=0,06$ გაიანგარიშება გალოგარიტმების ან $e^{-\lambda t}$ მნიშვნელობის შონახვით რადიოიზოტოპების დაშლისა და დაგროვების ცხრილში (იხ. დანართი 4). მიღებული აქტივობის მიხედვით რომ გავიგოთ სტრონციუმ-90-ისა და იტრიუმ-90-ის წონითი რაოდენობები, უნდა გავიგოთ, რას უდრის თითოეული მათგანის დაშლის მუდმივა წუთში?

ა) $\lambda_{Sr} = \frac{0,693}{28 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60} = 4,710 \cdot 10^{-6}$ წუთში;

ბ) $\lambda_{Y} = \frac{0,693}{64,2 \cdot 60} = 1,8 \cdot 10^{-4}$ წუთში.

მიღებული აქტივობისა და დაშლის მუდმივას (λ) ამ სიდიდეების მიხედვით სტრონციუმ-90-ისა და იტრიუმ-90-ის წონითი რაოდენობები უდრის:

ა) სტრონციუმ-90-ისათვის:

$$A_{sr} = \frac{A \cdot 2,22 \cdot 10^{12} \cdot a}{\lambda \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{1,1 \cdot 10^{-9} \cdot 2,22 \cdot 10^{12} \cdot 90}{4,7 \cdot 10^{-8} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 7,77 \cdot 10^{-10} \text{ გ,}$$

ბ) იტრიუმ-90-ისათვის:

$$A_{\lambda} = \frac{A \cdot 2,22 \cdot 10^{12}}{\lambda \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{1,1 \cdot 10^{-9} \cdot 2,22 \cdot 10^{12} \cdot 90}{1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 2,03 \cdot 10^{-15} \text{ გ.}$$

4. წყალში სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა. წყალში სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრას საფუძვლად უდევს საკვლევი წყლის სინჯიდან კალციუმის კარბონატთან წყალში მყოფი რადიოაქტიური იზოტოპების (სტრონციუმ-90, სტრონციუმ-89, იტრიუმ-90, ცირკონიუმ-95, ნიობიუმ-95, ცერიუმ-144 და სხვ.) თანდალექვა, რომლებსაგანაც უნდა გასუფთავდეს მომდევნო ოპერაციების დროს. თუ გამოსაკვლევი წყლის სინჯი მცირე რაოდენობით შეიცავს მარბლებს, განსაკუთრებით კი კალციუმს 20 მგ/ლ-ზე ნაკლებს, მაშინ სტრონციუმ-90 კონცენტრირებას ვაწარმოებთ კატიონიტზე. შემდეგ კატიონიტს ადსორბირებულ ელემენტებთან ერთად ვანაცრებთ. ნაცარს ვხსნით აზოტმჟავაში. აზოტმჟავის ხსნარიდან კი სტრონციუმ-90-ს, კალციუმს, მაგნიუმს და სხვ. გამოვლექავთ კარბონატების სახით. კარბონატების ნალექს ვხსნით 5N აზოტმჟავით და ვუმატებთ ბარიუმისა და სტრონციუმის სარჩულ ხსნარებს და რადიოაქტიურ ბარიუმს ვაცილებთ ამონიუმ-ბიქრომატის დამატებით. თუ სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა ტარდება ატომური აფეთქების შეწყვეტიდან 4 თვის ან გამოსაკვლევი სინჯის 4 თვით შენახვის შემდეგ, მაშინ ბარიუმის მოცილება შეიძლება არ ჩავატაროთ.

ბარიუმ-ბიქრომატის გამოლექვის შემდეგ ხსნარს ვუმატებთ სამვალენტოვანი რკინის მარილის ხსნარს და სინჯს ვნსუფთავებთ ქრომატის იონებისაგან, ხსნარში შემცველ ელემენტებს ვლექავთ კარბონატების სახით და ვინახავთ 14—16 დღე იტრიუმ-90-ის დაგროვების მიზნით, რის შემდეგ ნალექს ვხსნით აზოტმჟავით, ვუმატებთ იტრიუმის სარჩულს, იტრიუმს ვლექავთ ჰიდროჟანგის სახით, გადავიყვანთ ოქსალატში და მის აქტივობას ვზომავთ მცირეფონიან დანადგარზე. სტრონციუმის ქიმიურ გამოსავალს ვსაზღვრავთ კალციუმის მიხედვით. ეს ოპერაციები უდევს საფუძვლად სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრას წყალში.

სარჩული და სამუშაო ხსნარების დამზადება. $SrCl_2$ -ის სარჩულ ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 100

მლ საზომ კოლბას. მასში ვათავსებთ ანალიზურ სასწორზე აწონილ 5,2334 გ ქიმიურად სუფთა სტრონიუმქლორიდს, ვხსნით მკირე რაოდენობის 2 N მარილმჟავაში. რეაქტივის გახსნის შემდეგ კოლბას გამოხდილი წყლით შევავსებთ ნიშნაკამდე. ასეთი ხსნარის 1 მლ შეიცავს 20 მკ სტრონიუმს.

BaCl₂-ის სა რ ჩ უ ლ ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. ქიმიურად სუფთა ბარიუმქლორიდის 1,51 გ ვხსნით 100 მლ გამოხდილ წყალში; ასეთი ხსნარის 1 მლ შეიცავს 10 მკ ბარიუმს.

V(NO₃)₃-ის ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. იტრიუმის ნიტრატის 4,6380 გ ვხსნით 100 მლ გამოხდილ წყალში, მისი 1 მლ შეიცავს 15 მკ იტრიუმს.

FeCl₃-ის ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. ქიმიურად სუფთა FeCl₃·6H₂O-ის 4,9733 გ ვხსნით 100 მლ გამოხდილ წყალში. ასეთი ხსნარის 1 მლ შეიცავს 7,5 რკინას.

ამონიუმმძმარმჟავას ბუფერული ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. 300 გ ქიმიურად სუფთა ამონიუმმძმარმჟავას ვხსნით 1 ლ გამოხდილ წყალში (ეს იქნება ხსნარი „ა“).

ამონიუმმძმარმჟავას განზავებული ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. 6 გ ქიმიურად სუფთა ამონიუმმძმარმჟავას ვხსნით 1 ლიტრ გამოხდილ წყალში (ეს იქნება ხსნარი „ბ“).

ამიაკის ექვეს ნორმალური (6N) ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. ავიღებთ d=0,90 მქონე (25%) ამიაკს 500 მლ, ვათავსებთ 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში და ნიშნაკამდე ვანზავებთ გამოხდილი წყლით.

5 N აზოტმჟავას ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. 5 N აზოტმჟავას 1 ლიტრი ხსნარის დასამზადებლად საზომი ცილინდრით ვიღებთ კონცენტრულ d=1,42 აზოტმჟავას 312,5 მლ, ვათავსებთ 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში და ნიშნაკამდე ვანზავებთ გამოხდილი წყლით.

2 N აზოტმჟავას ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. 2N აზოტმჟავას 1 ლიტრი ხსნარის დასამზადებლად საზომი ცილინდრით ვიღებთ კონცენტრულ d=1,42 აზოტმჟავას 125 მლ, ვათავსებთ 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში და ნიშნაკამდე ვანზავებთ გამოხდილი წყლით.

ამონიუმ-ბიკრომატის 10%-იანი ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა. ავიღებთ 10 გრამ ქიმიურად სუფთა (NH₄)₂ C₂O₇, ვათავსებთ 100 მლ საზომ კოლბაში, ვუმატებთ გამოხდილ წყალს, კარგად შევანჯღრევთ, პრეპარატის გახსნის შემდეგ კოლბას შევავსებთ ნიშნაკამდე გამოხდილი წყლით.

ინდიკატორ-მურექსიდის მშრალი ნარევის დამზადება. ავიღებთ 10 გრამ ქიმიურად სუფთა (NH₄)₂ N₄ C₆ O₆, ამას-

თანავე 5 გ მურექსიდს და 95 გ სუფრის მარილს, ვათავსებთ აქატის ფილაში და გულმოდგინედ ვსრესთ.

0,05 N ტრილონ B ხსნარს კი ვამზადებთ და ტიტრს ვადგენთ ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად. საჭიროა აგრეთვე KY-2 ტიპის კათიონიტი, ამონიუმკარბონატისა და მკაუნმკაუას ნაჭერი ხსნარი და მეთილწითელისა და ორნორმალური NaOH-ის ხსნარი.

5. კალციუმის განსაზღვრა ტრილონომეტრული მეთოდით. გამოსაკვლევი წყლის სინჯიდან ზუსტად 200 მლ გადაგვაქვს ერლენმეიერის კოლბაში, ეუმატებთ 4—6 მლ ორნორმალურ ნატრიუმის ტუტის ხსნარს და 1 გ ინდიკატორ-მურექსიდის მშრალ ნარევს ან ახლად დამზადებულ მურექსიდის ნაჭერ ხსნარს 0,6 მილილიტრამდე (მკაფიო წითელი ფერის მიღებამდე). ხსნარს ინტენსიური ნჯღრევის ქვეშ ვტრირავთ 0,05 N ტრილონ B ხსნარით, საკვლევი წითელი ფერის ხსნარის მკაფიო ღილისფერში გადასვლამდე, რაც ეკვივალენტური წერტილის მიღწევის მაჩვენებელია:

საკვლევი წყალში კალციუმის იონის შემცველობა, გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულის მიხედვით: $x = \frac{a \cdot N \cdot 20,04 \cdot 1000}{V}$ მგ/ლიტრში Ca^{++} ,

სადაც x არის Ca^{++} შემცველობა, მგ/ლ;

a—გატიტრვაზე დახარჯული ტრილონ B ხსნარის რაოდენობა მილიმეტრებში;

N—ტიტრიანი ტრილონ B ხსნარის ნორმალობა (0,0514 N); 20,04—კალციუმის გრამეკვივალენტი; 1000—გრამების მილიგრამებში გადასაყვანი მამრავლი.

მაგალითი. ვთქვათ, ავიღეთ გამოსაკვლევი წყლის სინჯი 200 მლ რაოდენობით. გატიტრვაზე დაიხარჯა 0,0514 ნორმალობის ტიტრიანი ტრილონ B ხსნარის 10,2 მლ. 1 ლ გამოსაკვლევი წყალში Ca^{++} იქნება:

$$x = \frac{a \cdot N \cdot 20,04 \cdot 1000}{V} = \frac{10,2 \cdot 0,0514 \cdot 20,04 \cdot 1000}{200} = 52,53 \text{ მგ/ლ } Ca^{++}.$$

1. ლიტრში ჩვეულებრივ (20 მგ-ზე მეტი) რაოდენობით კალციუმის შემცველ წყალში სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრის მსვლელობა (1, 2). 1. ვიღებთ

1 თუ წყლის აქტივობა მცირეა, უნდა ავიღოთ 50—100 ლ და შესაბამისად უნდა გავადიდოთ დასამატებელი რეაქტივების რაოდენობაც.

2 თუ გამოსაკვლევი წყალი მღვრია, ვტოვებთ ერთი დღე-ღამის განმავლობაში შერტიწინარებული ნაწილაკების ჩამოლექვის მიზნით. შემდეგ ვამჟივრავლევ წყალს შესაფერისი მოცულობის მინის ბალონში გადაეასხამთ ან სიფონით გადავიტანთ 18-20 ლიტრის რაოდენობით.

გამოსაკვლევი წყლის სინჯს 20 ლიტრის რაოდენობით, რომელშიც კალციუმის რაოდენობა წინასწარ განსაზღვრულია ზემოაღნიშნული ტრილონომეტრული მეთოდით. მას ვუმატებთ ამონიუმკარბონატს 12 გ რაოდენობით, გულმოდგინედ მოვურევთ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ის გახსნამდე. ამის შემდეგ ვუმატებთ ამიაკის ქვეს ნორმალურ ხსნარს 100 მლ რაოდენობით მუდმივი მორევის ქვეშ; ვტოვებთ 24—48 საათის განმავლობაში. ამ პერიოდში მთლიანად ჩამოილექება კალციუმი, სტრონციუმი და სხვ. კარბონატების სახით.

2. გამკვირვალე ხსნარს სიფონით გადავიღებთ, რამდენადაც შესაძლებელია, მთლიანად — ნალექის აუშვრევლად. ნალექთან ერთად დარჩენილ ხსნარს (სუსპენზიას) მთლიანად გადავიტანთ ჭიქაში და ვფილტრავთ ბიუხნერის ძაბრში — უნაცრო ლურჯლენტიან ფილტრში გატარებით. სიფონირებულ ხსნარს ვუმატებთ ფილტრატს და ამ გაერთიანებულ ხსნარს ვინახავთ ცეზიუმ-137 განსასაზღვრავად.

3. კარბონატების ნალექს ვხსნით მინიმალური რაოდენობის 5 N აზოტმჟავით. თუ ნალექი მთლიანად არ გაიხსნა, ვფილტრავთ და ჩავრეცხავთ აზოტმჟავითი შემჟავებული გამოხდილი წყლით. ნალექს ვაგდებთ.

4. კალციუმის, სტრონციუმის და სხვ. ნიტრატების ხსნარს ვუმატებთ FeCl_2 -ის ხსნარს 1 მლ რაოდენობით (7,5 მგ რკინას). ხსნარს ვაცხელებთ ადუღებამდე, რის შემდეგ CO_2 -ის არშემცველ ამიაკის მიმატებით რკინას $\text{PH}-5,0-5,5$ (უნივერსალური ინდიკატორული ქაღალდით) ვლექავთ რკინა-ჰიდროქსიდის სახით, ვფილტრავთ და ჩავრეცხავთ CO_2 -ის არშემცველი ამიაკის წყალხსნარით 2—3-ჯერ. ნალექს ვაგდებთ.

5. ფილტრატს ვუმატებთ SrCl_2 -ის სარჩულ ხსნარს 2 მლ რაოდენობით (40 მლ სტრონციუმს), BaCl_2 -ის სარჩულს კი 1 მლ რაოდენობით (10 მგ ბარიუმს) ვუმატებთ მეთილწითელის რამდენიმე წვეთს და ვანეიტრალავთ 2N აზოტმჟავით. ვანეიტრალების შემდეგ ვუმატებთ 2—3 წვეთ ჭარბ 2N აზოტმჟავას. ამ გამოსავალ ხსნარს ვუმატებთ მის შიერ დაკავებულ მოცულობის ნახევარ რაოდენობის ამონიუმმმარმჟავას ბუფერულ ხსნარს (ე. ი. ხსნარი „ა“). ხსნარს ვაცხელებთ თითქმის ადუღებამდე და ვუმატებთ ამონიუმ-ბიქრომატის 10%-იან ხსნარს 1 მლ რაოდენობით ჭიქის კედლების მინის წკირით ენერგიული წმენდის ქვეშ. გაცივების შემდეგ ვფილტრავთ და ჩავრეცხავთ მცირე რაოდენობის ამონიუმმმარმჟავას ზემოაღნიშნული განზავებული ხსნარით (ე. ი. ხსნარით „ბ“). ბარიუმ-ბიქრომატის ნალექს ვაგდებთ.

6. ფილტრატს ვუმატებთ FeCl_3 -ის ხსნარს 1 მლ რაოდენობით. CO_2 -ის არშემცველი ამიაკის მიმატებით PH-5,0—5,5 ვლექავთ რკინას, რკინა-ჰიდროჟანგის სახით. ვფილტრავთ და ჩავრეცხავთ ამიაკის წყალხსნარით. ნალექს ვაგდებთ.

7. ფილტრატს ვაცხელებთ თითქმის აღულებამდე, ვუმატებთ ამონიუმ-კარბონატის ნაჭერ ხსნარს კარბონატების მთლიან გამოლექვამდე. ამის შემდეგ ვფილტრავთ, ჩავრეცხავთ გამოხდილი წყლით 2—3-ჯერ და ნალექს ვინახავთ 14 დღე, სტრონციუმ-90-ის დაშლის პროდუქტის იტრიუმ-90-ის დაგროვების მიზნით.

8. იტრიუმ-90-ის დაგროვების შემდეგ კი კარბონატების ნალექს ვხსნით მინიმალური რაოდენობის 5N აზოტმქაევაში, ვუმატებთ იტრიუმის სარჩულ ხსნარს 1 მლ რაოდენობით (15 მკ იტრიუმს) და CO_2 -ის არშემცველი ამიაკის მიმატებით ვლექავთ იტრიუმს, იტრიუმის ჰიდროჟანგის სახით. ნალექის ხსნარიდან მოცილებას ვახდენთ გაფილტვრით ან ცენტრიფუგირებით, ჩავრეცხავთ ამიაკის (1:10) წყალხსნარით 2—3-ჯერ (ეს იქნება პირველი ხსნარი ნარეცხითურთ). ნალექს ვხსნით 5N აზოტმქაევაში, ვუმატებთ სტრონციუმის სარჩულს 0,5 მლ რაოდენობით (10 მკ სტრონციუმს) და იტრიუმს ხელახლა ვლექავთ იტრიუმის ჰიდროჟანგის სახით. შემდეგ ნალექის ხსნარიდან მოცილებას ხელახლა ვახდენთ გაფილტვრით ან ცენტრიფუგირებით, ვრეცხავთ ამიაკის წყალხსნარით (ეს იქნება მეორე ხსნარი ნარეცხითურთ). იტრიუმიდან ნალექს ვხსნით მინიმალური რაოდენობის 5 N აზოტმქაევაში, ცენტრიფუგის სინჯარაში გადატანით.

9. ფილტრატს, ე. ი. პირველ და მეორე ხსნარებს ნარეცხი ხსნარებითურთ ვაერთიანებთ და ვასხამთ 200 მლ საზომ კოლბაში და წყლის დამატებით მიგვყავს ნიშნაკამდე. ამ გაერთიანებულ ხსნარში (200 მლ) კალციუმის შემცველობას განვსაზღვრავთ ტრილონომეტრული მეთოდით, სარჩულ გამოსავლის გაანგარიშებისათვის.

10. იტრიუმის ხსნარს კი ვათბობთ წყლის აბაზანაზე. გამთბარ ხსნარს ვუმატებთ მქაუნმქაევას ნაჭერ ხსნარს ჯერ წვეთ-წვეთად, შემდეგ კი მთლიანად 10 მლ რაოდენობით და ვაგრძელებთ ცენტრიფუგის სინჯარაშივე მის გათბობას წყლის აბაზანაზე 10—15 წუთის განმავლობაში; ხსნარიდან ნალექის მოცილებას ვახდენთ ცენტრიფუგირებით და ვრეცხავთ სპირტით სამჯერ. თითო გარეცხვისათვის ვიყენებთ 5 მლ სპირტს.

11. იტრიუმის ოქსალატის სპირტიან ნალექს გულმოდგინეთ ვანჯღრევთ და განსაზღვრული რაოდენობა ბიპეტკით გადაგვაქვს წინასწარ აწონილ კიუვეტზე („სამიზნეზე“), თანაბრად ვანაწილებთ, ჰაერზე

ვაშრობთ, ვწონით და ვათავსებთ კალკის პაკეტში. ამ პრეპარატის აქტივობას ვზომავთ მცირეფონიან დანადგარზე. იტრიუმ-90-ის შესაბამისად, სტრონციუმ-90-ის ხვედრით აქტივობას გავიანგარიშებთ (4—4) ფორმულას მიხედვით.

6. ქრომატოგრაფიული მეთოდით წყალში სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრის მსვლელობა. 1. ლიტრში 20 მგ-ზე ნაკლები კალციუმის შემცველ წყლებში კალციუმის განსაზღვრას ვატარებთ ისე, როგორც ეს ჩავატარეთ კალციუმის დიდი რაოდენობით შემცველ წყლებში, ზემოაღნიშნული ტრილონომეტრული მეთოდით.

2. KY-2 ტიპის კათიონიტს 5 გ რაოდენობით ვათავსებთ 10—12 მმ დიამეტრისა და 25 მმ სიმაღლის მქონე ქრომატოგრაფიულ (იონ-მიმოცვლით) მილში (სვეტში) და მასში ვატარებთ გამოსაკვლევი წყლის სინჯს 20 ლიტრის რაოდენობით.

3. ქრომატოგრაფიულ მილიდან კათიონიტს ადსორბირებულ ნივთიერებითურთ გადავიტანთ ფაიფურის ტიგელში, ვანახშირებთ ელექტროქურაზე, შემდეგ ვათავსებთ მუფელის ღუმელში და ვანაცრებთ.

4. ნაცარს ვამუშავეთ ამონიუმკარბონატის ნაჯერი ხსნარით წყლის აბაზანაზე გახურების ქვეშ.

5. კარბონატების ნალექს გამოხდილი წყლით ვრეცხავთ 2—3-ჯერ და ვხსნით მინიმალური რაოდენობის 5N აზოტმკვავაში. ამის შემდეგ მის დამუშავებას და აქტივობის გაზომვას და ხვედრითი აქტივობის გაანგარიშებას ვაწარმოებთ ისე, როგორც 1 ლიტრში 20 მილიგრამზე მეტი რაოდენობით კალციუმის შემცველ წყლებში ჩავატარეთ. სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრისას კი ვაწარმოებთ დაწყებული მე-4 მუხლიდან მე-11 მუხლის ჩათვლით, მოცემული ოპერაციების თანახმად.

ძვეალში, რძეში და სხვა ბიომასალებში ექსტრაქციული მეთოდით სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრისას იმპულს/წუთების და შლავ/წუთების გადასაყვანი „K“ კოეფიციენტის განსაზღვრა.

20 მლ მოცულობის გამყოფ ქაბრში თანმიმდევრობით ვასხამთ კონცენტრულ აზოტმკვავას 5 მლ რაოდენობით, ვუმატებთ 50 მგ, ანუ 0,05 გ V_2O_5 -ის მომცემ. სარჩულ ხსნარს 1 მლ რაოდენობით და რადიოაქტიურ წონასწორობაში მყოფ სტრონციუმ-90-იტრიუმ-90-ის ხსნარს 0,1 მლ რაოდენობით. წონასწორულ მდგომარეობაში მყოფ ამ

რადიონოტოპების აქტივობა უნდა იყოს 1200 დაშლა/წუთში¹. შემდეგ გამყოფ დაბრში მყოფ შიგთავსს ვუმატებთ ამ გამოსავალი ხსნარის მოცულობის (ე. ი. 6 მლ) წონასწორულ ტრიბუტილფოსფატს და ვანჭლრევთ 3—5 წუთის განმავლობაში, ვტოვებთ ფაზების გაყოფამდე. ამის შემდეგ გამყოფ დაბრიდან წყლის (ქვედა) ფენას ჩავუშვებთ მეორე გამყოფ დაბრში, მას (ე. ი. მეორე გამყოფი დაბრის შიგთავსს) ვუმატებთ იმავე მოცულობის ტრიბუტილფოსფატს და ზემოაღნიშნულის განალოგიურად ვახდენთ ექსტრაქციას, (გამოხსნარებას). ორივე ორგანულ ფაზას ვაერთებთ (ე. ი. ვასხამთ ერთ გამყოფ დაბრში) და ამოვწვილავთ იტრიუმს 70°-მდე გაცხელებულ გამოხდილი წყლით. ამოწვილების ოპერაციას ვიმეორებთ ორჯერ. ერთ ამოწვილებისათვის გამოყენებული წყლის მოცულობა ორგანული ფაზის მოცულობის ნახევარი უნდა იყოს. ექსტრაქტს (წყლის ფაზას) ერთსა და იმავე ჰიქაში ვასხამთ, ვუმატებთ ბრომკრეზოლმეწამულის რამდენიმე წვეთს და CO₂-ის არშემცველ ამიაკს მანამ, ვიდრე ხსნარის ყვითელი შეფერვა არ გადავა მკაფიო იისფერში. ამის შემდეგ ვფილტრავთ უნაცრო ფილტრში გატარებით და ვრეცხავთ 3%-იანი ამონიუმნიტრატის ხსნარით. ნალექი გადაგვაქვს აწონილ ფაიფურის ტიგელში, ვაშრობთ, ვათავსებთ მუფელის ლუმელში და 900°-მდე ვავარვარებთ. მიღებულ იტრიუმის ქანგს (V₂O₅) ვწონით და ვგებულობთ სარჩულ გამოსავალს. შემდეგ იტრიუმის ქანგისაგან ვამზადებთ პრეპარატს („სამიზნეს“) და მკირეფონიან დანადგარზე ვზომავთ ამ ეტალონის აქტივობას, გავომილ აქტივობიდან გამომდინარე, „K“ კოეფიციენტს გავიანგარიშებთ.

ჩვენ მიერ აღებული წონასწორულ სტრონციუმ-90—იტრიუმ-90-ის 200 დაშლა/წუთში აქტივობიდან იტრიუმ-90-ის გამოსავალი აქტივობა (A₀) უდრის:

$$A_0 y^{90} = \frac{A_0 S_r^{90} + y^{90}}{2}$$

¹ განზაების ხერხით ვამზადებთ 1200 დაშლა/წუთში აქტივობის ხსნარს. ვთქვათ, გვაქვს სტრონციუმ-90-ის ხსნარი, რომლის თითო მილილიტრის აქტივობა უდრის 1 მიკროკიურს, ე. ი. 3.7.204 დაშლა/წამში = 2,22 · 10⁶ დაშლა/წუთში, ანუ 2220000 დაშლა/წუთში. აქედან = $\frac{2220000}{1200} - 1 = 1849$. მაშასადამე, იმისათვის, რომ

3.7.104 დაშლა/წუთის აქტივობის ხსნარიდან და წყლისაგან მოვამზადროთ 1200 დაშლა/წუთის აქტივობის ხსნარი, საჭიროა ავიღოთ მისი 1 მლ და დავუმატოთ 1849 მლ წყალი. სტრონციუმ-90-ის და იტრიუმ-90-ს შორის რადიოაქტიური წონასწორობის დამყარების მიზნით დამზადებულ ხსნარს ვტოვებთ 20 დღემდე. მხოლოდ ამის შემდეგ შეიძლება იგი გამოყენებულ იქნეს ეტალონის დასამზადებლად.

² ექსტრაპირებული იტრიუმ-90-ის აქტივობა (A_0y^{9011}) გაზომვის პომენტში უნდა იყოს:

$$A_0y^{9011} = A_0y^{90} \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot (t_1 - t_0)}{64,2}}$$

სადაც ($t_1 - t_0$) — პირველი ორგანული ფაზის გამოყოფის მომენტიდან პრეპარატის თვის სისწრაფის გაზომვამდე განვლილი დროა საათებში.

ვთქვათ, მცირეფონიან დანადგარზე A_0y^{9011} აქტივობის პრეპარატის გაზომვის შედეგად მივიღეთ n_0 იმპულს/წუთში. აქედან

$$A_0y^{9011} = Kn_0,$$

$$\text{აქედან } K = \frac{A_0y^{9011}}{n_0}$$

სადაც K კოეფიციენტი არის იმპულს/წუთების დაშლა/წუთებში გადასაყვანი მაშრავლი.

მაგალითი: ვთქვათ, წონასწორულ მდგომარეობაში მყოფი $Sr^{90} \rightarrow Y^{90}$ -ის აქტივობა უდრის 1200 დაშლას/წუთში; დამატებული იტრიუმის სარჩულის წონა (M_4) უდრის 0,05 გ; ანალიზის შედეგად მიღებული და „სამიზნეზე“ დატანილ სარჩულ ნაერთის (Y_2O_3) წონა (M_5) აღმოჩნდა 0,048 გ; პრეპარატის გაზომვის შედეგად მიღებული თვის სისწრაფე $n_0 = 82$ იმპულს/წუთში, პირველი ორგანული ფაზის გამოყოფის მომენტიდან პრეპარატის აქტივობის გაზომვამდე განვლილი დრო $t_1 - t_0 = 21$ საათს. აქედან:

$$A_0y^{90} = \frac{1200}{2} = 600 \text{ დაშლა/წუთში};$$

$$A_0y^{9011} = 600 \cdot \frac{0,05}{0,048} \cdot e^{-\frac{0,623 \cdot 21}{64,2}} = 494 \text{ დაშლა/წუთში.}$$

$$g. \text{ o. } K = \frac{494}{82} = 6,02 \approx 6.$$

7. ცეზიუმ-137-ის განსაზღვრა სტიბიუმ-იოდიდის მეთოდით.

საკვებ პროდუქტებში, წყალში, მცენარეულ სინჯებში და სხვა ბიომასალებში რადიოცეზიუმის განსაზღვრის პრინციპი დამყარებულია სამკლორიანი სტიბიუმისა და ამონიუმბოდიდის ხსნარების მოქმედებით მიღებულ $Cs_3Sb_2I_7$ ძნელად ხსნადობაზე. ამ მეთოდს ხელს არ უშლის ტუტე და მიწა-ტუტე ლითონების თანდასწრება, ხელშემშლელია მხოლოდ მყანგველების თანდასწრება.

სარჩული და შემაკავებელი ხსნარების დამზადება. ცეზიუმის სარჩულ ხსნარის დამზადება. CsNO_3 —ცეზიუმნიტრატის 3,6664 გ ან CsCl —ცეზიუმქლორიდის 3,1670 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ მოგვეცემს 112 მგ/მლ $\text{Cs}_2\text{Sb}_2\text{J}_5$ ანუ 25 მგ/მლ Cs.

აზოტმჟავა იტრიუმის შემაკავებელი ხსნარის დამზადება. $\text{Yr}(\text{NO}_3)_3$ —იტრიუმნიტრატის 3,0920 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ შეიცავს 10 მგ/მლ ლითონ იტრიუმს Y.

აზოტმჟავა სტრონციუმის შემაკავებელი ხსნარის დამზადება. $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ —სტრონციუმნიტრატის 9,6611 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ შეიცავს 40 მგ/მლ Sr.

აზოტმჟავა ლანთანის შემაკავებელი ხსნარის დამზადება. $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ —ლანთანიტრატის 9,3564 გ ვხსნით 100 მლ გამობდილ წყალში. მისი 1 მლ შეიცავს 40 მგ/მლ La.

გამოიყენება მხოლოდ ახლად დამზადებული ამონიუმბრომიდის (NH_4J) მძლარი ხსნარი. ამიტომ მას ვამზადებთ მუშაობის დაწყების წინ. ვიღებთ 17 გ NH_4J და ვხსნით 10 მლ გამობდილ წყალში.

სამქლორიანი სტიბიუმის ნაჭერი ხსნარის დამზადება. SbCl_3 —სამქლორიანი სტიბიუმის 74 გ ვხსნით 100 მლ ყინულოვან ძმარმჟავაში, მისი 1 მლ შეიცავს 740 მგ SbCl_3 .

საჭიროა აგრეთვე ყინულოვანი ძმარმჟავა და 94% ეთილის სპირტი.

ცეზიუმ-137 განსაზღვრის მსვლელობა 1. გამოსაკვლევად აღებულ საშუალო სინჯს ვანახშირებთ, ვათავსებთ მუფელის ღუმელში და ვანატრებთ 300—400° ტემპერატურაზე, ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად კონცენტრული აზოტმჟავისა და პერჰიდროლის (H_2O_2) გამოყენებით მანამ, ვიდრე არ მივიღებთ თეთრი ფერის ნაყარს.

2. თუ გამოსაკვლევი სინჯის ჯამური აქტივობა უდრის 4.19⁻⁹ კიური/კგ და მეტს, მაშინ მიღებული ნაცრიდან ვიღებთ საშუალო სინჯს რაციონისა და ალაფანის გამოკვლევის შემთხვევაში 10 გ რაოდენობით, ზორცის, რძისა და სხვ. შემთხვევაში—5 გ. უფრო ნაკლები აქტი-

ვობის შემთხვევაში შესაბამისად მეტი რაოდენობის ნაცარს ვიღებთ და ანალიზში ჰარბი მარილების გამოყოფის ოპერაციას ჩავტოვათ¹.

3. ნაცრის საშუალო სინჯს 5—10 გ (აქტივობიდან გამომდინარე) ვათავსებთ შესაფერისი მოცულობის ფაიფურის ფინჯანში და ვუჰატებთ ცეზიუმის, იტრიუმის, სტრონციუმისა და ლანთანის ზემოაღნიშნულ ხსნარებს თითო მილილიტრის რაოდენობით.

4. აღნიშნული მარილის ხსნარების დამატების შემდეგ სინჯს ფაიფურის¹ ფინჯანშივე ვუმატებთ კონცენტრულ მარილმკაფას 25 მლ რაოდენობით, ვდგამთ ქვიშის აბაზანაზე და მუდმივ მორევის ქვეშ ვაორთქლებთ სიმშრალემდე. ამ ოპერაციას ვიმეორებთ 3-ჯერ, რითაც მთლიანად შორდება HNO_3 .

5. მშრალი ნაშთი გადაგვაქვს 100 მლ ქიმიურ კიქაში. ფაიფურის ფინჯანზე დარჩენილ ნაწილსაც იმავე ქიმიურ კიქაში ჩავრეცხავთ მცირე რაოდენობის 3N მარილმკაფათი.

6. ნაღვეს ვხსნით მინიმალური რაოდენობის 3N მარილმკაფათი, გაცხელებისა და მინის წყირით მორევის ქვეშ (ჩვეულებრივად საკმარისია ნაცრის ყოველ გრამს დაემატოს 3N მარილმკაფა 5 მლ რაოდენობით, უფრო მეტის დამატება სარჩულის გამოსავლიანობას ზრდის).

7. თუ ხსნარი გაუმჟვირვალეა, რასაც იწვევს სილიციუმმკაფას გამოყოფა, ვფილტრავთ და ვრეცხავთ 2 მლ 3N მარილმკაფათი.

8. ხსნარს ვაცივებთ ოთახის ტემპერატურამდე. ამ დროს თუ ნაღვეი გამოიყო, მას ვხსნით 3N მარილმკაფათი (უეჰატებთ 3—5 მლ რაოდენობით), გაცხელებისა და მორევის ქვეშ, შემდეგ ხელახლა ვაცივებთ.

9. 50—60 მლ ხსნარიდან ცეზიუმის გამოყოფის შემთხვევაში მას ვუმატებთ ახლად დამზადებულ ამონიუმბიორიდის (NH_4I) ნაჭერ ხსნარს 3 მლ რაოდენობით, ხოლო 25—40 მლ ხსნარიდან ცეზიუმის გამოლექვისას კი 2 მლ რაოდენობით.

10. თუ იოდის გამოყოფის გამო ხსნარი მუქ-ყავისფრად შეიფერა, მაშინ მცირე ულუფობით ვუმატებთ Na_2SO_3 -ის მარილის კრისტალებს გამჟვირვალე ყავისფერის მიღებამდე.

¹ მშრალი ნაშთის გახსნის შემდეგ სილიციუმის გამოყოფის მიზნით, ხსნარს ვასხამთ ფაიფურის ფინჯანში და 1/2 მოცულობამდე ვაორთქლებთ ქვიშის აბაზანაზე. შემდეგ ხსნარს ნალექიანად გადავიტანთ ცენტრიფუგის სინჯარაში, ვახდენთ ცენტრიფუგირებას და ნაღვეს ვრეცხავთ ეთილის სპირტით, თითო გარეცხვისათვის ვიყენებთ 10 მლ სპირტს. ხსნარს (ფუგატს) ვაერთებთ, ამ გაერთიანებულ ხსნარს ვასხამთ ფაიფურის ფინჯანში და ხელახლა ვაორთქლებთ ქვიშის აბაზანაზე. მშრალ ნაშთს ვხსნით 25—30 3 N მარილმკაფათით. თუ ამ რაოდენობის მარილმკაფაში იგი არ გაიხსნა, უნდა გავიმეოროთ ჰარბი მარილების გამოყოფის ოპერაცია.

11. ვუმატებთ სტიბიუმქლორიდის ($SbCl_3$) მაძღარ ხსნარს 0,2 მლ რაოდენობით, ვდგამთ ყინულიან წყალში და მინის წკირით მოვუტრევთ ნალექის გამოყოფამდე.

12. 1—2 საათით დაყოვნების შემდეგ ნალექის ზემოთ მოთავსებულ ხსნარს გადავწურავთ დეკანტაციის წესით (ნალექის აუმღვრეველად). ეს იქნება I დეკანტირებული ხსნარი. ნალექს მთლიანად გადავიტანთ ცენტრიფუგის სინჯარაში, კიქის კედლებზე დარჩენილ კრისტალებსაც ცენტრიფუგის სინჯარაშივე ჩავრეცხავთ I-ლი, დეკანტირებული ხსნარით.

13. ნალექის ხსნარიდან მოცილებას ვახდენთ ცენტრიფუგირებით და თითო მილილიტრი ყინულოვანი მმარბეავითი ვრეცხავთ მანამ, ვიდრე გასარეცხი ხსნარი არ მიიღებს გამკვირვალე მწვანე ფერს. საბოლოოდ 1 მლ ეთილის სპირტით ვრეცხავთ და ვაშრობთ არა უმეტეს 90° ტემპერატურაზე.

14. ნალექს, რამდენადაც შესაძლებელია, მთლიანად გადავიტანთ 2,5 სმ² ფართის მქონე წინასწარ აწონილ ალუმინის კიუვეტზე, სინჯარის კედლებზე დარჩენილ კრისტალებსაც იმავე კიუვეტზე ჩავრეცხავთ სპირტით, თანაბრად ვანაწილებთ და ვაშრობთ ინფრაწითელი ნათურის ქვეშ.

15. ვწონით სარჩულის გამოსავლის გაგების მიზნით და ვზომავთ მის აქტივობას T-ნფლ-25 ან MCT-17 ტორსული მრიცხველის გამოყენებით.

16. ცეზიუმ-137-ის ზვედრით აქტივობას გავიანგარიშებთ შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$A = \frac{(n-m) \cdot K \cdot M_2 \cdot M_4 \cdot 10^3}{M_1 \cdot M_3 \cdot M_5 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ კილური Cs}^{137}/\text{კგ.} \quad (4-5)$$

ფორმულაში აღნიშვნებს იგივე მნიშვნელობა აქვთ, რაც (4-3) ფორმულაში ჰქონდათ.

თხევადი პროდუქტების (რძე, მცენარეული ზეთი და ა. შ.) და წყლის ზვედრითი აქტივობის განსაზღვრისას M_1 ნაცვლად იქნება V -საანალიზოდ აღებული სითხის მოცულობა ლიტრებში.

8. რბილ ქსოვილებში ცეზიუმ-137-ის განსაზღვრა $Cs_3 Bi_2 J_9$ -ის სახით.

რადიოქიმიური განსაზღვრისათვის განკუთვნილი რბილი ქსოვილების დანაცრებას ვაწარმოებთ ზემოაღნიშნული წესით. რბილ ქსოვილებში ცეზიუმ-137-ის რადიოქიმიურ განსაზღვრას საფუძვლად უდევს ცეზიუმ-137-ის გამოყოფა $Cs_3 Bi_2 J_9$ -ის სახით.

სარჩულისა და სამუშაო ხსნარების დამზადება. CsCl-ის სარჩულ ხსნარის დამზადება. ცეზიუმ-ქლორიდის 1,55 გ ვხსნით 100 მლ გამოხდილ წყალში (60 მგ/მლ $Cs_3Bi_2J_9$).

ამონიუმ-კარბონატის სპირტ-ამიაკის ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 180 მლ კონცენტრულ ამიაკს, მას ვუმატებთ 800 მლ გამოხდილ წყალს და 900 მლ 96%-იან ეთილის სპირტს. ამ ნარევეში ვყრით ქიმიურად სუფთა ამონიუმ-კარბონატს მორევის ქვეშ გაჭერებამდე და ვფილტრავთ ქარბ ამონიუმ-კარბონატისა და შესაძლო მინარევის მოცილების მიზნით.

მარილმჟავასა და სპირტის ნარევის დამზადება: ვიღებთ ერთ ლიტრ 96%-იან ეთილის სპირტს და ვუმატებთ 500 მლ კონცენტრულ მარილმჟავას ($d=1,19$).

ცეზიუმის დამლექავი ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 50 მლ ყინულოვან ძმარმჟავას (CH_3-COOH) და ვუმატებთ 5 გ ბისმუტის ჟანგსა (Bi_2O_3) და 17 გ კალიუმოიდის (KJ), გულმოდგინედ მოვეურევთ. თუ არ გაიხსნა, შეიძლება გავაცხელოთ ადუღებამდე.

ცეზიუმ 137-ის განსაზღვრის მსვლელობა 1. რადიოქიმიური განსაზღვრისათვის განკუთვნილი ბიომასალების რბილი ქსოვილების დანაცრებას ვაწარმოებთ ზემოაღნიშნული წესით.

2. მიღებულ ნაცრიდან ვიღებთ 5—10 გ ნაცარს (აქტივობიდან გამომდინარე), ვათავსებთ ცეცხლგამძლე კოლბაში ან ქიმიურ ქიქაში, ვუმატებთ ცეზიუმ-ქლორიდის სარჩულის ზემოაღნიშნულ ხსნარს 1 მლ რაოდენობით, რაც მოგვცემს 60 მგ $Cs_3Bi_2 J_9$. ამის შემდეგ ნაცარს ვახამთ 6N მარილმჟავას 50 მლ რაოდენობით, გულმოდგინედ მოვეურევთ და ფრთხილად ვადუღებთ აირნათურაზე ან ელექტროქურაზე 5—10 წუთის განმავლობაში. ვფილტრავთ, ნალექს ფილტრზე 2—3-ჯერ ჩავრეცხავთ მწრილმჟავით შემჟავებულ ცხელი წყლით. გამოხსნარების ამ ოპერაციას ვიმეორებთ 2—3-ჯერ.

3. ფილტრატს ვაცხელებთ ადუღებამდე და ვაორთქლებთ ტენიან მარილების მიღებამდე.

4. მიღებულ ტენიან მარილების ნალექს ვხსნით 20—30 მლ გამოხდილ წყალში, ვუმატებთ რამდენიმე წვეთ წყალბადის ზეჟანგს, 50 მლ 96%-იან ეთილის სპირტს და ზემოაღნიშნულ ამონიუმ-კარბონა-

ტის სპირტ-ამიაკის ხსნარს 50 მლ რაოდენობით, გულმოდგინედ მოვურევთ. ხსნარ-ნალექს ვტოვებთ 2—3 საათის განმავლობაში. ამ დროს კალციუმი, სტრონციუმი, ბარიუმი, მანგანუმი დაილექება კარბონატების სახით, ხოლო რკინა და ალუმინი, კი — ჰიდროქანგების სახით. რკინისა და ალუმინის $[Fe(OH)_3]$ და $Al(OH)_3$ ჰიდროქანგებთან ერთად ნაწილობრივ ცეზიუმიც დაილექება, მაგრამ ეს უკანასკნელი სუსტად არის შეკავშირებული და სპირტ-ამიაკის ხსნარით ადვილად გამოირეცხება.

5. ნალექიდან ხსნარის მოცილებას ვახდენთ გაფილტვრით ან ცენტრიფუგირებით და ჩაერეცხავთ 20 მლ სპირტ-ამიაკის ხსნარით. ნალექს ვაგდებთ.

6. Cs^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ -ის შემცველ ფილტრატს ვუმატებთ კონცენტრულ მარილმჟავას 10 მლ რაოდენობით, მოვურევთ და ვაორთქლებთ სიმშრალემდე, ვათავსებთ მუფელის ღუმელში და 300° ტემპერატურაზე ვახურებთ ამონიუმის მარილების მთლიან მოცილებამდე.

7. მიღებულ ცეზიუმის, ნატრიუმისა და კალიუმის ქლორიდებს ვხსნით 20 მლ წყალში, ვუმატებთ მარილმჟავასა და სპირტის ზემოაღწეულ ნარევს 180 მლ რაოდენობით, გულმოდგინედ მოვურევთ. ამ დროს კალიუმი და ნატრიუმი ილექება ქლორიდების სახით. კალიუმისა და ნატრიუმის ქლორიდების ნალექიან ხსნარს ვტოვებთ 10—20 წუთის განმავლობაში.

8. ნალექიდან ხსნარის მოცილებას ვახდენთ გაფილტვრით და ჩაერეცხავთ 10 მლ მარილმჟავასა და სპირტის ზემოაღწეული ნარევით და ნალექს ვაგდებთ.

9. ფილტრატს ვაორთქლებთ სიმშრალემდე. მშრალ ნაშთს ვხსნით 2—3 მლ გამოხდილ წყალში და ვუმატებთ 18 მლ მარილმჟავასა და სპირტის ზემოაღწეულ ნარევს, ვტოვებთ 10 — 20 წუთის განმავლობაში. ნალექებიდან ხსნარის მოცილებას ვახდენთ გაფილტვრით. 5 მლ მარილმჟავისა და სპირტის ნარევით ჩაერეცხავთ. ნალექს ვაგდებთ.

10. ხსნარს (ფილტრატს) ვაორთქლებთ სიმშრალემდე, გაცივების შემდეგ კი ვხსნით 2—3 მლ/გამოხდილ წყალში.

11. მიღებულ ხსნარს ვუმატებთ 3 მლ ყინულოვან ძმარმჟავას და ვაცხელებთ $50—60^\circ$ -მდე.

12. ცხელ ხსნარს ნელ-ნელა და წვეთ-წვეთად ვუმატებთ ცეზიუმის დამლექავ ზემოაღწეულ ხსნარს 1 მლ რაოდენობით მინის წკირით მუდმივი შორევის ქვეშ. ჰიქას დავხურავთ საათის მინით, ვათავსებთ გაცხელებული წყლის აბაზანაზე და Cs_3Bi_2 სახით ჩამოლექილი

კრისტალების მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით ვაცხელებთ 30—50 წუთის განმავლობაში.

13. ნალექის ხსნარიდან მოცილებას ვახდენთ ცენტრიფუგირებით და ვრეცხავთ მცირე რაოდენობის (2—3 მლ) ყინულოვან ქმარმკავით. გარეცხვას ვიმეორებთ მანამ, ვიდრე მრეცხავი ხსნარის ყვითელი შეფერვა არ გაქრება.

14. გარეცხილი ნალექი გადაგვაქვს საშრობ კარადაში და 140 — 145° ტემპერატურაზე ვაშრობთ მუდმივი წონის მიღებამდე.

15. $\text{Cs}_2\text{Bi}_2\text{I}_9$ ნალექიდან ავიღებთ 40 მგ, მისგან ვამზადებთ პრეპარატს („სამიზნეს“) და ვზომავთ გამოყოფილ ცეზიუმ 137-ის აქტიუობას. ცეზიუმ-137-ის ხვედრით აქტიუობას გავიანგარიშებთ (4—5) ფორმულის მიხედვით.

9. რძეში იოდ-131-ის განსაზღვრა. ეს მეთოდი გამოიყენება ატომური აფეთქების შედეგად წარმოქმნილ იოდ-131-ით მოწამლულ (გაჭუჭყიანებული) რძეში იოდ-131-ის განსაზღვრისათვის, ხოლო იოდის სხვა იზოტოპები, როგორცაა იოდ-132, 133, 134 და 135 პრაქტიკულად დაშლილნი არიან რძეში რადიოიოდის განსაზღვრის მომენტისათვის, რადგან მათი ნახევრად დაშლის პერიოდი მცირეა.

რძეში იოდ-131-ის რადიოქიმიურ განსაზღვრას საფუძვლად უდევს ელემენტარულ იოდამდე დაქანგვა და მისი ექსტრაქცია ოთხ-ქლორიანი ნახშირბადის საშუალებით. იოდიდ-იონამდე აღდგენის შემდეგ კი იოდის გადაყვანა წყლის ფაზაში, სარჩულ გამოსავლის განსაზღვრის მიზნით იოდის დალექვა ვერცხლიოდიდის სახით და საბოლოოდ კი მისი აქტიუობის გაზომვა.

ს ა კ ტ ი რ ო , ხ ს ნ ა რ ე ბ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა . KJ -ის ს ა რ ჩ უ ლ ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა . ავიღებთ 100 მლ საზომ კოლბას, მასში ვათავსებთ ანალიზურ სასწორზე აწონილ 4,2425 გ ქიმიურად სუფთა კალიუმბრომიდს, რომელსაც ვუმატებთ გამოზდილ წყალს და კარგად შევანჯღრევთ: რეაქტივის გახსნის შემდეგ კოლბას გამოზდილი წყლით შევავსებთ ნიშნაკამდე. ასეთი სარჩულ ხსნარის 1 მლ მოგვეცემს გამოსავალს (AJ -ს) 60 მგ რაოდენობით.

ნ ა ტ რ ი უ მ ი ს ს უ ლ ფ ი ტ ი ს 9%-ი ა ნ ი ხ ს ნ ა რ ი ს დ ა მ ზ ა დ ე ბ ა . ავიღებთ 9 გრამ Na_2SO_3 . ვათავსებთ 1-ლიტრიან საზომ

¹ საერთოდ საკვები პროდუქტები და კერძოდ რძე შეიძლება მოიწამლოს მათ ზედაპირზე რადიოაქტიური აეროლიზის დალექვით, კონტაქტურად რადიოაქტიური იზოტოპებით გაჭუჭყიანებული ტრანსპორტით გადატანისას და ბიოლოგიურად, როდესაც ცხოველური და მცენარეული წარმონაშობი საკვები იწამლება მათ სიცოცხლეშივე, ასეთი საკვების მიღებით.

კოლბაში, ვუმატებთ გამოხდილ წყალს, შევანჯღრევთ, პრეპარატის გახსნის შემდეგ კოლბას შევავსებთ ნიშნაკამდე გამოხდილი წყლით.

6N აზოტმქაევას ხსნარის დამზადება. 6N აზოტმქაევას 1 ლიტრი ხსნარის დასამზადებლად საზომი ცილინდრით ვიღებთ კონცენტრირებულ $d=1,42$ აზოტმქაევას 375 მლ, ვათავსებთ 1-ლიტრიან საზომ კოლბაში და ნიშნაკამდე ვანზავებთ გამოხდილი წყლით.

ვერცხლის ნიტრატის 1%-იანი ხსნარის დამზადება. ავიღებთ 100 მლ საზომ კოლბას, მასში ვათავსებთ ზუსტად 1 გ ქიმიურად სუფთა NgNO_3 , ვუმატებთ გამოხდილ წყალს და შევანჯღრევთ. რეაქტივის გახსნის შემდეგ კოლბას შევავსებთ ნიშნაკამდე გამოხდილი წყლით. ვერცხლის ნიტრატის ხსნარს ვინახავთ მუქ ქურქელში ან შავი ქალაღით შემოკრულ ჩვეულებრივ მინის ქურქელში.

რძეში იოდ-131-ის განსაზღვრის მსვლელობა. ანალიზისათვის ავიღებთ რამდენადაც შესაძლებელია ახალ რძეს, რადგან იოდ-131-ის ნახევრად დაშლის პერიოდი უდრის 8,06 დღეს.

1. ალუმინის ტაშტში ვასხამთ 2 ლიტრ რძეს, ვუმატებთ 1 მლ სარჩულ ხსნარს, რაც მოგვცემს 60 მგ AgJ და ნატრიუმის ტუტეს ჟოლოსფერის მიღებამდე ევენოლფტალენით. ტაშტს შიგთავსითურთ ვდგამთ ელექტროქურაზე და ვაორთქლებთ სქელი მასის მიღებამდე, პერიოდულად მოვურევთ. სქელი მასა გადაგვაქვს ფაიფურის ფინჯანში და ვანაცრებთ მუფელის ღუმელში არა უმეტეს 300—400°-ზე. ნაცარს ვაწვრილმანებთ ფილაზე და ხელახლა ვანაცრებთ ღია ნაცრისფერის მიღებამდე.

2. ნაცარს ვათავსებთ ცეცხლგამძლე ქიმიურ ქიქაში, ვუმატებთ 100 მლ გამოხდილ წყალს, ვაცხელებთ და მოვურევთ მინის წკირის საშუალებით. ამ ოპერაციას, ე. ი. გამოხდილი წყლით დამუშავებას, ვიმეორებთ ორჯერ. ვფილტრავთ ბიუხნერის ძაბრში გატარებით. ნალექს ვაგდებთ, ხოლო ფილტრატს ვინახავთ შემდეგი დამუშავებისათვის.

3. ფილტრატი მთლიანად გადაგვაქვს შესაფერისი მოცულობის გამყოფ ძაბრში, ვუმატებთ დიეთილის ეთერს 25 მლ რაოდენობით, 18 გ ნატრიუმის ნიტრიტს (NaNO_2) და 100 მლ ოთხქლორიან ნახშირბადს, მოვურევთ ნატრიუმის ნიტრიტის მთლიან გახსნამდე. ამის შემდეგ ფრთხილად ვუმატებთ კონცენტრულ აზოტმქაევას მანამ, ვიდრე ოთხქლორიანი ნახშირბადის ფაზა არ მიიღებს ვარდისფერს (ე. ი. ნეიტრალიზაციის რეაქციის დამთავრებამდე).

გამყოფ ძაბრს შიგთავსითურთ ფრთხილად ვანჯღრევთ 1—2 წუთის განმავლობაში და ვტოვებთ ოთხქლორიანი ნახშირბადისა და წყლის

ფაზების გაყოფამდე. ამ დროს იოდი გადადის CCl_4 -ის ფაზაში, რომელიც ვარდისფრად იქნება შეფერილი.

4. ორგანულ ფაზას ვასხამთ მეორე გამყოფ ძაბრში, ხოლო წყლის ფაზას ხელახლა ვუმატებთ CCl_4 -ის 100 მლ რაოდენობით და ფრთხილად ვანჯღრევთ 1 — 2 წუთის განმავლობაში. ფაზების გაყოფის შემდეგ ორგანულ ფაზას ვასხამთ იმავე გამყოფ ძაბრში, რომელშიც ჩავასხით პირველი ორგანული ფაზა. ამ ოპერაციას ვიმეორებთ მანამ, ვიდრე ორგანული (CCl_4) ფაზის შეფერვა არ შეწყდება. როგორც წესი, იოდის გამოხსნარება მთავრდება სამი თანმიმდევრული ექსტრაქციის შემდეგ.

5. გაერთიანებულ ორგანულ ფაზას ვრეცხავთ 200 მლ გამოხდილი წყლით. განარეცხი წყლის ფაზას გადავღვრით, ხოლო გარეცხილ ექსტრაქტს (ორგანულ ფაზას) თანდათანობით ვუმატებთ 9%-იან ნატრიუმის სულფიტს (Na_2SO_3) და ვანჯღრევთ; ნატრიუმის სულფიტს ვუმატებთ მანამ, ვიდრე ნჯღრევის ქვეშ CCl_4 -ის ფაზა არ გაუფერულდება. ამ დროს იოდი აღდგება იოდ-იონად და რაოდენობრივად გადადის წყლის ფაზაში. წყლის ფაზას ქიმიურ ჭიქაში ვასხამთ.

6. ექსტრაქტს (წყლის ფაზას) ვუმატებთ 6M აზოტმჟავას, ექსტრაქტის ყოველ 20 მლ-ზე 3 მლ რაოდენობით და ფრთხილად ვაღულებთ მანამ, ვიდრე ხსნარი არ მიიღებს თავისუფალი იოდის შეფერვას. თავისუფალი იოდის ფერის მიღებისთანავე ვუმატებთ 1%-იანი ვერცხლის ნიტრატს 6 მლ რაოდენობით და მიღებული ვერცხლიოდიდის (AgJ) ნალექის კოაგულირების მიზნით ვაგრძელებთ გაცხელებას 5 წუთის განმავლობაში. გაცივების შემდეგ ვფილტრავთ და ვრეცხავთ განზავებულ აზოტმჟავათი ორჯერ და ერთხელ კი აცეტონით.

7. ნალექი მთლიანად გადაგვაქვს კიუვეტზე („სამიზნეზე“), ვათავსებთ საშრობ კარადაში, ვაშრობთ 110° ტემპერატურაზე და იოდის სარჩელის გამოსავლის გაგების მიზნით ვწონით ანალიზურ სასწორზე. ნალექი უნდა იყოს ყვითელი ფერის, რაც მაჩვენებელია იმისა, რომ პრეპარატი ნამდვილად წარმოადგენს AgJ -ს. პრეპარატი უნდა მოვარიდოთ ძლიერი სინათლის სხივების მოქმედებას. მის აქტივობას ვზომავთ ტორსული მრიცხველის გამოყენებით.

დაშლა/წუთებში იმპულს/წუთების გადასაყვანი „K“ კოეფიციენტი უნდა იყოს განსაზღვრული ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად, იოდ-131-ით დამზადებული ეტალონის მიხედვით.

იოდ-131-ის ხვედრით აქტივობას (A) გავიანგარიშებთ შემდეგი ფორმულით:

$$A = \frac{(n-m) \cdot K \cdot M_2 \cdot M_4}{M_3 \cdot M_5 \cdot e^{-\lambda t} \cdot v \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ კიური იოდ-131/ლიტრ რძეში.} \quad (4-6)$$

(4—5) ფორმულაში აღნიშვნებს იგივე მნიშვნელობები აქვთ, რაც მათ ჰქონდათ ზემომოცემულ (4—3) ფორმებში.

ზოგიერთი ფიზიკური მუდმივა

გამოსახვითი სიმბოლოები	სახელწოდება	ს ი დ ი დ ე
C	სინათლის სიჩქარე	2,997929.10 ¹⁰ სმ/წამი
e	ელექტრონის მუხტი	4,8029.10 ¹⁰ აბსოლუტური ელექტროსტატიკური ერთეული
m _e	ელექტრონის მასა	9,1085.10 ⁻³¹ გ ანუ 0,00055 ატომური ერთეული ¹
m _p	პროტონის მასა	1,6724.10 ⁻²⁴ გ ანუ 1,007581 ატომური ერთეული
m _n	ნეიტრონის მასა	1,6751.10 ⁻²⁴ გ ანუ 1,008937 ატომური ერთეული
m _{II}	წყალბადის ატომის მასა	1,6738.10 ⁻²⁴ გ ანუ 1,00813 ატომური ერთეული
$\frac{m_p}{m_e}$	პროტონისა და ელექტრონის მასების შეფარდება	1,00823 ატომური ერთეული 1837,5
N	ავოგადროს რიცხვი	6,247.10 ²³ ატომთა რიცხვი გრამატომში

1 მასის ერთეული (ატომური ერთეული) = 1,6603.10⁻²⁴ გ = 931,04 მევ.

ზოგიერთი იზოტოპის გამა-აქტივობა, გამოხატული რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტებში m უფილტროდ

იზოტოპი	T 1/2 (ნახევარად დაშლის პერიოდი)	1 მილიკიურის აქტივობა რადიუმის მილიგრამ ეკვივალენტებში m	იზოტოპი	T 1/2 (ნახევარად დაშლის პერიოდი)	1 მილიკიურის აქტივობა რადიუმის მილიგრამ ეკვივალენტებში m
1	2	3	4	5	6
ნატრიუმი-22	2,6 წელი	1,45	კადმიუმი-115	2,2 დღე	0,40
ნატრიუმი-24	14,9 სთ	2,26	სტიბიუმი-125	2,7 წელი	0,33
მაგნიუმი-28	21,8 სთ	0,92	სტიბიუმი-127	3,65 დღე	0,4
ალუმინი-28	2,31 წუთი	1,02	ტელური-129	33,5 დღე	0,25
კლორი-38	37,7 წუთი	0,85	იოდი-131	8,08 დღე	0,27
კლორი-39	55, 1 წუთი	0,86	იოდი-132	2,3 სთ	1,34
არგონი-41	1,82 სთ	0,79	იოდი-133	5,3 დღე	0,38
კალციუმი-49	8,75 წუთი	2,76	ცეზიუმი-137	33,3 წელი	0,42
ქრომი-51	27,8 დღე	0,021	ბარიუმი-140	12,8 დღე	0,16
მანგანუმი-52	6 დღე	2,25	დანთან-140	40,2 სთ	1,43
მანგანუმი-54	291 დღე	0,58	ცერიუმი-144	285 დღე	0,021
მანგანუმი-56	2;58 სთ	1,0	პროზეროდი-მი-144	17,3 წუთი	0,038

1	2	3	4	5	6
რკინა-59	45,1 დღე	0,74	ნეოლიუმი-147	11,6 დღე	0,11
კობალტი-60	5,27 წელი	1,57	ვერონიუმი-156	15,4 დღე	0,67
სპილენძი-64	12;8 სთ	0,14	ირიდიუმი-192	74,34 დღე	0,65
თუთა-65	245 დღე	0,34	ოქრო-198	2,69 დღე	0,29
ბრომი-82	1,5 დღე	1,84	ოქრო-199	3,15 დღე	0,10
კრიპტონი-87	1,3 სთ	0,60	ვეოცხლისწყა- ლი-203		
ცირკონიუმი-95	65 დღე	0,50	პოლონიუმი-210	47,9 დღე	0,17
ნიობიუმი-95	35 დღე	0,53	რადიუმი (B+C + +C')	138,3 დღე	6,7 · 10 ⁻⁸
მოლიბდენი-99	2,8 დღე	0,21	ურანი-233	1620 წელი	1 *
რუთენიუმი-103	39,8 დღე	0,34	ურანი-234	1,62 · 10 ⁶	3,1 · 10 ⁻⁵
როლიუმი-106	30 წამი	0,13	ურანი-235	2,48 · 10 ⁸	1,2 · 10 ⁻⁴
			ურანი-238	7,13 · 10 ⁸	0,11
				4,5 · 10 ⁹	0,01

* 0,5 მილიმეტრის კლატინის ფილტრიდან

ღ ა ნ ა რ თ ი 3

ბეტა-ნაწილაკების მაქსიმალური შეღწევადობა (განარბენი)

ბეტა-ნაწილაკების ენერჯია ევ-ში	ჰაერის ფენა-ში გ.შ-ში	წყლის ფენა-ში გ.შ-ში	ალუმინის ფენა-ში გ.შ-ში	ბეტა-ნაწილაკების ენერჯია ევ-ში	ჰაერის ფენა-ში გ.შ-ში	წყლის ფენა-ში გ.შ-ში	ალუმინის ფენა-ში გ.შ-ში
0,01	0,0023	0,0025	0,0013	0,70	2,513	2,78	1,315
0,02	0,0077	0,0084	0,0042	0,75	2,746	3,04	1,437
0,03	0,0161	0,0175	0,0087	0,80	2,985	3,31	1,559
0,04	0,0266	0,0290	0,0143	0,85	3,217	3,57	1,685
0,05	0,0394	0,0431	0,0212	0,90	3,449	3,84	1,807
0,06	0,054	0,059	0,029	0,95	3,697	4,11	1,933
0,07	0,071	0,077	0,038	1,0	3,936	4,38	2,059
0,08	0,089	0,097	0,047	1,2	4,896	5,47	2,563
0,09	0,109	0,119	0,058	1,4	5,862	6,56	3,070
0,10	0,130	0,143	0,069	1,6	6,821	7,66	3,574
0,15	0,256	0,281	0,135	1,8	7,781	8,75	4,074
0,20	0,407	0,448	0,214	2,0	8,732	9,84	4,593
0,25	0,747	0,638	0,394	2,2	9,683	10,90	5,074
0,30	0,763	0,841	0,400	2,4	10,611	12,00	5,593
0,35	0,959	1,06	0,504	2,6	11,510	13,10	6,074
0,40	1,168	1,29	0,611	2,8	12,459	14,29	6,593
0,45	1,384	1,52	0,722	3,0	13,411	15,30	7,741
0,50	1,601	1,77	0,837	4,0	17,858	20,60	9,841
0,55	1,817	2,01	0,952	5,0	22,281	25,80	11,889
0,60	2,050	2,27	1,070	6,0	25,156	31,00	14,259
0,65	2,274	2,52	1,193	8,0	34,377	41,30	

რადიოიუნქტების დაშლა და დაგროვება

$\frac{t}{T}$	$e^{-\lambda t}$	$(1-e^{-\lambda t})$	$\frac{t}{T}$	$e^{-\lambda t}$	$(1-e^{-\lambda t})$
0,02	0,985	0,015	1,05	0,483	0,517
0,04	0,972	0,028	1,10	0,467	0,533
0,06	0,959	0,041	1,15	0,451	0,549
0,08	0,946	0,054	1,20	0,435	0,565
0,10	0,933	0,067	1,25	0,420	0,580
0,12	0,920	0,080	1,30	0,406	0,594
0,14	0,907	0,093	1,35	0,392	0,608
0,16	0,894	0,106	1,40	0,379	0,621
0,18	0,882	0,118	1,45	0,366	0,634
0,20	0,870	0,130	1,50	0,354	0,646
0,22	0,858	0,142	1,60	0,330	0,670
0,24	0,846	0,154	1,70	0,308	0,692
0,26	0,835	0,165	1,80	0,288	0,712
0,28	0,823	0,177	1,90	0,268	0,732
0,30	0,812	0,188	2,00	0,250	0,750
0,32	0,801	0,199	2,10	0,233	0,767
0,34	0,790	0,210	2,20	0,218	0,782
0,36	0,779	0,221	2,30	0,203	0,797
0,38	0,769	0,231	2,40	0,190	0,810
0,40	0,758	0,242	2,50	0,177	0,823
0,42	0,748	0,252	2,60	0,165	0,835
0,44	0,737	0,263	2,70	0,154	0,846
0,46	0,727	0,273	2,80	0,144	0,856
0,48	0,717	0,283	2,90	0,134	0,866
0,50	0,707	0,293	3,00	0,125	0,875
0,55	0,683	0,317	3,20	0,109	0,891
0,60	0,659	0,341	3,40	0,095	0,905
0,65	0,637	0,363	3,60	0,083	0,917
0,70	0,615	0,385	3,80	0,072	0,928
0,75	0,594	0,406	4,00	0,062	0,938
0,80	0,574	0,426	4,20	0,054	0,946
0,85	0,555	0,445	4,40	0,047	0,953
0,90	0,536	0,464	4,60	0,041	0,959
0,95	0,518	0,482	4,80	0,036	0,964
1,00	0,500	0,500	5,00	0,031	0,969

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: t — რადიოიუნქტის დაშლის ან დაგროვების დრო;

T — რადიოიუნქტის ნახევარ დაშლის პერიოდი,

λ — დაშლის სიჩქარის მუდმივა.

e^{-x} ფუნქციის ცხრილი

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,000	0,990	0,980	0,970	0,961	0,951	0,942	0,932	0,923	0,914
0,1	0,905	0,896	0,887	0,878	0,869	0,861	0,852	0,844	0,835	0,827
0,2	0,819	0,811	0,803	0,795	0,787	0,779	0,771	0,763	0,756	0,748
0,3	0,741	0,734	0,726	0,719	0,712	0,705	0,698	0,691	0,684	0,677
0,4	0,670	0,664	0,657	0,651	0,644	0,639	0,631	0,635	0,619	0,613
0,5	0,607	0,601	0,595	0,589	0,583	0,577	0,571	0,566	0,560	0,554
0,6	0,549	0,543	0,538	0,533	0,527	0,522	0,517	0,512	0,507	0,502
0,7	0,497	0,492	0,487	0,482	0,477	0,472	0,468	0,463	0,408	0,454
0,8	0,449	0,445	0,440	0,436	0,432	0,427	0,423	0,419	0,415	0,411
0,9	0,407	0,403	0,399	0,395	0,391	0,387	0,383	0,379	0,375	0,372
1,0	0,368	0,364	0,361	0,357	0,354	0,350	0,347	0,343	0,340	0,336
1,1	0,333	0,330	0,326	0,323	0,320	0,317	0,314	0,310	0,307	0,304
1,2	0,301	0,298	0,295	0,292	0,289	0,287	0,284	0,281	0,278	0,275
1,3	0,273	0,270	0,267	0,265	0,262	0,259	0,257	0,254	0,252	0,249
1,4	0,247	0,244	0,242	0,239	0,237	0,235	0,232	0,230	0,228	0,225
1,5	0,223	0,221	0,219	0,217	0,214	0,212	0,210	0,208	0,206	0,204
1,6	0,202	0,200	0,198	0,196	0,194	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185
1,7	0,183	0,181	0,179	0,177	0,176	0,174	0,172	0,170	0,169	0,167
1,8	0,165	0,164	0,162	0,160	0,169	0,157	0,156	0,154	0,153	0,151
1,9	0,150	0,148	0,147	0,145	0,144	0,142	0,141	0,140	0,138	0,137
2,0	0,135	0,134	0,133	0,132	0,130	0,129	0,128	0,126	0,125	0,124
.1	0,123	0,121	0,120	0,119	0,118	0,117	0,116	0,114	0,113	0,112
2,2	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,105	0,103	0,102	0,101
2,3	0,100	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,094	0,093	0,092
2,4	0,091	0,090	0,089	0,088	0,087	0,086	0,085	0,085	0,084	0,083
2,5	0,082	0,081	0,081	0,080	0,079	0,078	0,077	0,077	0,076	0,075
2,6	0,074	0,074	0,073	0,072	0,071	0,070	0,069	0,069	0,069	0,068
2,7	0,067	0,067	0,066	0,065	0,065	0,064	0,063	0,062	0,062	0,061
2,8	0,061	0,060	0,060	0,059	0,059	0,058	0,057	0,057	0,056	0,056
2,9	0,055	0,055	0,054	0,054	0,053	0,052	0,052	0,051	0,051	0,050

x	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
3,0	0,050	0,045	0,041	0,037	0,033	0,030	0,027	0,025	0,022	0,020
4	0,018	0,017	0,015	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008
5	0,007	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
6	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001

x	7	7,5	8	8,5	9	10
e^{-x}	0,00091	0,00055	0,00034	0,00020	0,00012	0,00005

ატომურ აუთენტისას ატომების გახლეჩით წარმოშობილ ნახლეჩთა და მათი დაშლის პროდუქტების ფარდობითი აქტიუობა და გამოსხვებუბათა დაბასიათუბა

უღაუბუბუბი	იბოტობის სიმბოლო	ნახუერად და-შლის პერიოდი	გამოსხვებების ენერგია მილონეულექტრონულტებში (ეეე)		დროის მიბუდეთი ფარდობითი აქტიუობა				
			ბ	γ	45 დუე	1 წუელი	3 წუელი	10 წუელი	
									2
სტრონციუმი	Str ⁹⁰	51 დუე	1.463	0.91 (0.01 %)	10.7	1.67	—	—	—
სტრონციუმი	Str ⁹⁰	28±1 წუელი	0.545	არა	0.51	5.1	19.4	56.5	—
იტრიუმი	Y ⁹¹	64.2 სთ	2.26	1.73 (0.02%) (e/γ > 30)	12.8	3.48	—	—	—
იტრიუმი	Y ⁹¹	57.5 დუე	1.537	1.19 (0.22 %)	10.6	0.11	—	—	—
ცერიუმი	Ce ¹⁴¹	33.1 დუე	0.581 (33 %)	0.142 (30 %)	—	—	—	—	—
ცერიუმი	Ce ¹⁴⁴	285 დუე	0.442 (67 %)	($\frac{e\gamma}{\gamma}$ 0.22)	—	—	—	—	—
პრაზუოდუმი	Pr ¹⁴³	17.3 წთ	0.309 (76%)	0.033; 0.041;	—	—	—	—	—
პრაზუოდუმი	Pr ¹⁴⁴	13.76 დუე	0.175 (25 %)	0.053; 0.059;	12.8	61.5	43.4	0.34	—
ნეოდიმი	Nd ¹⁴⁵	11.6 დუე	298 (95 %)	0.080; 0.095;	—	—	—	—	—
პრომიუმი	Pm ¹⁴⁷	2.64 წუელი	2.3 (2 %)	0.134	—	—	—	—	—
			0.8 (3 %)	0.0603; 0.696 } (<2%)	—	—	—	—	—
			0.932	1.5; 2.19	—	—	—	—	—
			0.81 (66 %)	არა	—	—	—	—	—
			0.38 (18 %)	0.09; 0.121; 0.198;	—	—	—	—	—
			0.23 (16 %)	0.077; 0.321; 0.400	—	—	—	—	—
			0.223	0.441; 0.533; 0.60; 0.688 } არა	1.0	8.4	19.8	10.7	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ვერბალური	Eu ¹⁶⁵	1.7 წელი	0.154 (80%) 0.243 (20%)	0.0189; 0.0265; 0.0453; 0.060; 0.0865; 0.105; 0.122; 0.154; 0.235 (Nip ¹⁶⁵ m)	0.019	0.14	0.24	0.05
ცოცხალი	Zr ⁹⁵ ↓ N ¹⁶⁶ Tc ⁹⁹ U ²³⁵	65 დღე 35 დღე 2.12, 1.1 წელი 8.18 დღე	0.3; (43%) 0.396 (55%) 0.86 (2%) 0.158 0.29 0.015 (0.7%) 0.618 (87.2%) 0.335 (9.3%) 0.250 (2.8%) 0.119; 0.227; —	0.765 არა 0.080 (2.2%) 0.163; 0.284 5.3%; 0.364 (80%) 0.637 (9%); 0.722 (3%) 0.055; 0.297; 0.323; 0.366; 0.498; 0.610; 0.04	14.6 12.9 — 0.30	4.86 5.42	0.01 0.02	— — — —
რეზერვები	Ru ¹⁰⁰ ↓ Ru ^{100m} Ru ¹⁰⁶ ↓ Rh ¹⁰⁰	39.8 დღე 57 წთ 1 წელი 30 წამი	3.53 (68%); 3.1 (11%) 2.44 (12%); 2.1 (3%) და სხვა (6%) 0.514 (92%) 1.17 (8%)	არა 10 კვანძი 0.513-დან 2.66-მდე	1.04	5.8	5.9	0.16
ბარონები	C ¹³⁷ ↓ Ba ^{137m} Kr ⁸⁵ Xe ¹³⁷ Ba ¹⁴⁰ ↓ La ¹⁴⁰	33 წელი 2.6 დღე 10.3 წელი 5.3 დღე 12.8 დღე 40.2 სთ	0.672; 0.15 (0.65%) 0.347 1.02 (60%); 0.48 2.15; 1.67; 1.34; 1.10; 0.83	0.662 0.517 0.081 0.03; 0.13; 0.16; 0.30; 0.44; 0.54 7 კვანძი 0.328-დან 3.00-მდე	0.28 0.15 0.18 5.5	2.94 1.45	16.8 5.0	31.2 10.1 — —

• ლანთანი

დ. ი. ბონდუქვიძის პერიოდული სისტემა

ჩრდობი აღნიშნული
კაბელებით ვა-
ლაზე ხანგრძლივი-
სიცოცხლის მქონეობა.
მოკლეს მხოლოდ რა-
ბუბია

პერი- ოდი	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
1	1H 1,0080														
2	3Li 6,940	4Be 9,013	5B 10,82	6C 12,01	7N 14,003	8O 16	9F 19,00	10Ne 20,183							
3	11Na 22,997	12Mg 24,32	13Al 26,98	14Si 28,08	15P 30,975	16S 32,06	17Cl 35,457	18Ar 39,944							
4	19K 39,100	20Ca 40,08	21Sc 44,96	22Ti 47,90	23V 50,95	24Cr 52,01	25Mn 54,94	26Fe 55,85	27Co 58,94	28Ni 58,69					
	29Cu 63,54	30Zn 65,38	31Ga 69,72	32Ge 72,60	33As 74,91	34Se 78,96	35Br 79,916	36Kr 83,6							
5	37Rb 85,48	38Sr 87,63	39Y 88,92	40Zr 91,22	41Nb 92,91	42Mo 95,95	43Tc 98	44Ru 101,1	45Rh 102,91	46Pd 106,7					
	47Ag 107,880	48Cd 112,41	49In 114,76	50Sn 118,70	51Sb 121,76	52Te 127,61	53I 126,91	54Xe 131,3							
6	55Cs 132,91	56Ba 137,36	57La* 138,92	72Hf 178,6	73Ta 180,95	74W 183,92	75Re 186,31	76Os 190,2	77Ir 192,2	78Pt 195,23					
	79Au 197,0	80Hg 200,61	81Tl 204,39	82Pb 207,21	83Bi 209,00	84Po 209	85At 210	86Em 222							
7	87Fr 223	88Ra 226,05	89Ac* 227	104K* (260)	(105)	(106)	(107)	(108)	(109)	(110)					
	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)							

* სპონდირული

IIIb/IV	IIIb/V	IIIb/VI	IIIb
58Ce:59 140,13	60Nd:61 140,92	62Pm:63 144,77	64Sm:65 145
66Dy:67 152,0	68Er:69 156,9	70Yb:71 158,93	72Lu 162,46
89Tm:90 168,93	91Pa:92 180,9	93Np:94 183,04	95Am:96 187,04
101Md:102 208,107	103Lr 210,1	105Fm:106 214	107No:108 218,106

ფარეობის კაბელებით
ანაბრებულია უკვე
მრავალჯერ ჩატარებულ
მაზებს

შ ი ნ ა ა რ ს ი

წინასიტყვაობა	3
შესავალი	4
თ ა ე ი ¹ . წიგთიერების აღნაგობა	9—143
1. საკითხის მოკლე ისტორიული მიმოხილვა	9
2. ატომური წონის განსაზღვრა	11
3. ელექტრონების აღმოჩენა	16
4. რენტგენის სხივები	18
რადიაქტივობა	23
1. რადიაქტივობის აღმოჩენა	23
2. ბუნებრივი რადიაქტივობა	27
3. რადიაქტიური მწყრივები	28
ატომის აღნაგობა და ატომბირთვის მდგრადობა	37
1. ატომის აღნაგობა	37
2. ატომბირთვის აღნაგობა	50
3. ატომბირთველი ძალები	54
4. ელემენტარული ნაწილაკები	55
5. ატომბირთვის ბმის ენერჯია და მასის დეფექტი	59
6. ატომბირთვების მდგრადობა	63
იზოტოპები	65
1. იზოტოპების მოკლე მიმოხილვა	65
2. იზობარები	67
3. იზომერები	68
4. იზოტონები	70
რადიაქტიური გარდაქმნის კინეტიკა	71
1. რადიაქტიური გარდაქმნის პროცესი	71
2. ნახევრად დაშლის პერიოდი	72
3. სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა	75
რადიაქტიური იზოტოპების დაგროვება	77
1. ზოგადი განტოლებები	77
2. მოძრავი წონასწორობა	79
3. საუკუნეობრივი წონასწორობა	82
4. ნაშიერი ელემენტი მკქსიმალური რაოდენობით დაგროვებისათვის	86
საქირო დროის (t _m) გაანგარიშება	86
5. ნახევრად დაშლის პერიოდის განსაზღვრის ხერხები	87
რადიაქტიური წელთაღმრიცხველი (რადიაქტიური საათი)	89
1. მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა ტყვიის მეთოდით	90
2. მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა პელიუმის მეთოდით	91

3. მინერალების ხნოვანების განსაზღვრა კალიუმის მეთოდით	91 /
4. ცხოველთა და მცენარეთა ნაშთებისა და სხვ. ხნოვანების განსაზღვრა რადიოაქტიური ნახშირბადის მეთოდით	92
ხელოვნური რადიოაქტივობა	94
1. პირველი ატომბირთვული რეაქცია	94
2. ხელოვნური რადიოაქტიური ელემენტების მიღება	95
3. ატომბირთვული რეაქციები	97
4. მნიშვნელოვანი ბირთვული რეაქციები	102
5. თერმობირთვული რეაქციები	112
6. ატომბირთვული გარდაქმნები	115
გამოსხივება და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედება	123
1. მუხტიანი ნაწილაკებისა და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედება	123
2. გამა-კვანტებისა და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედება	126
3. ნეიტრონებისა და ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედება	130
ატომბირთვულ გამოსხივებათა საზომი ერთეულები	133
1. აქტივობის საზომი ერთეულები	133
2. შემოსხივების დოზა	136
3. დოზის ერთეულები	137
4. რადიუმის გრამ-ეკვივალენტი	140
5. აქტივობასა და მასას შორის კავშირი	142
თ ა ვ ი II. რადიოქიმიის მეთოდები	144—178
1. რადიოაქტიური ელემენტების მდგომარეობა ხსნარებში	144
2. კრისტალური ნალექების სახით რადიოაქტიური მარილების გამოყოფის თეორიული საფუძველი	146
3. ანომალური წარმონაქმნი. შერეული კრისტალები	154
4. წილადური კრისტალიზაცია	155
5. კრისტალურ ნალექის ზედაპირზე რადიოაქტიური ელემენტების ადსორბცია	156
6. ექსტრაქციის მეთოდი	164
7. ლითონის ზედაპირზე ელემენტების გამოყოფის ელექტროქიმიური მეთოდი	167
8. იზოტოპების ქრომატოგრაფიული განცალკევება	169
9. აქტიური ნალექისა და ატომების გაცემის მეთოდი	171
10. რადიოაქტიური ელემენტების შემცველი ნაერთების მიღება და იზომერების განცალკევება; სცილარდ-ჩალმერსონის ეფექტი	173
11. იზოტოპური მიმოცვლის რეაქციები	176
თ ა ვ ი III. რადიოაქტიური ელემენტების ქიმია	179—248
ტენეციუმი	180
პრომეთიუმი	182
პოლონიუმი	183
ასტატი	188
რადონი	191
ფრანციუმი	194
რადიუმი	196
აქტინიუმი	205
თორიუმი	202

პროტაქტინიუმი	206
ურანი	209
ნეპტუნიუმი	220
პლუტონიუმი	224
ამერიციუმი	229
კიურიუმი	235
ბერკლიუმი	236
კალიფორნიუმი	238
ეინშტეინიუმი	239
ფერმიუმი	240
მენდელეევიუმი	242
ნობელიუმი	243
ლაურენსიუმი	244
კურჩატოვიუმი	244
ელემენტების პერიოდულ სისტემაში აქტინიდების მდგომარეობა და მათი კლასიფიკაცია ატომის აღნაგობის თვალსაზრისით	245
თ ა ვ ი IV. ატომბირთვული ენერჯია	249—263
1. ატომბირთვული ენერჯიის მიღება	249
2. ურანის რეაქტორი	253
3. თერმობირთვული რეაქციები	257
ატომური იარაღი	259
1. ატომური იარაღის კლასიფიკაცია	259
თ ა ვ ი V. რადიოაქტიურ გამოსხივებათა აღმოჩენისა და განსაზღვრის მეთოდები	264—269
1. იონიზაციური მეთოდის საფუძველი	264
საიონიზაციო კამერები და აირმრიცხველები	265
1. საიონიზაციო კამერა	265
2. აირმრიცხველი	266
თ ა ვ ი VI. დოზიმეტრული ხელსაწყოები	270—310
საველე რენტგენომეტრები	271
1. საველე რენტგენომეტრი $ДП=3$	271
საველე რადიომეტრ-რენტგენომეტრი $ДП=5=A$	272
ინდივიდუალური დოზიმეტრები	277
1. ინდივიდუალური შემოსხივების დოზიმეტრული კონტროლის კომპლექტი $ДП=22=B$	277
2. ინდივიდუალური შემოსხივების დოზიმეტრული კონტროლის კომპლექტი $ДП=24$	281
3. ინდივიდუალური დოზიმეტრი $ДК=0,2$	281
ლაბორატორიული რადიომეტრები	284
1. დეკადურ-მრიცხველ დანადგარი $ДП=100$	284
2. დეკადურ-მრიცხველ დანადგარს $ДП=100AД=M$	303
3. დანადგარი $B=3$	305
4. ბეტა-აქტივობის გასაზომი მცირეფონიანი დანადგარი $УМФ=1500 M$	308
თ ა ვ ი VII. რადიოაქტიური ნივთიერებებით მოწამლული მყარი და თხევადი მასალებიდან სინჯის აღება და მათი აქტივობის განსაზღვრა	311—317
1. რადიოაქტიური მოწამლვის საორიენტაციო განსაზღვრა	311

2. საკვები პროდუქტებისა და წყლის სინჯის აღება	313
თ ა ვ ე VIII. სქელი ფენის ექსპრეს მეთოდით ხვედრითი აქტივობის განსაზღვრა	317—323
1. ექსპრეს მეთოდით განსაზღვრისათვის გამოსაკვლევი სინჯების წინასწარი დამუშავება	318
2. სქელი ფენის მეთოდით ბეტა-აქტიური პრეპარატის მომზადება და მისი აქტივობის განსაზღვრა	318
3. სქელი ფენის მეთოდით ალფა-გამომსხიეველი ნივთიერებებით მოწა- ლული სინჯებიდან პრეპარატების მომზადება და მათი აქტივობის განსაზღვრა	320
თ ა ვ ი IX. რადიოქიმიური ანალიზის მეთოდები	324—325
1. საკვები პროდუქტებისა და სხვა ბიომასალების სინჯის დანაცრება	324
2. სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა ოქსალატის მეთოდით და საპირო სარჩულ ხსნარების დამზადება	325
3. სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა ტრიბუტილფოსფატით ექსტრაქცი- რების მეთოდით	330
4. წყალში სტრონციუმ-90-ის განსაზღვრა	336
5. კალციუმის განსაზღვრა ტრილონომეტრული მეთოდით	338
6. ქრომატოგრაფიული მეთოდით წყალში სტრონციუმ-90-ის განსაზ- ღვრის მსვლელობა	341
7. ცეზიუმ-137-ის განსაზღვრა სტიბიუმ-იოდიდის მეთოდით	343
8. რბილ ქსოვილებში ცეზიუმ-137-ის განსაზღვრა Cs ₃ Bi ₂ S ₉ -ის სახით	346
9. რძეში იოდ-131-ის განსაზღვრა	349
დანართები	
1. ზოგიერთი ფიზიკური მუდმივა	353
2. ზოგიერთი იზოტოპის გამა-აქტივობა, გამოხატული რადიუმის მილი- გრამ-ეკვივალენტებში m უფილტროდ	353
3. ბეტა-ნაწილაკების მაქსიმალური შეღწევალობა (განარბენი)	354
4. რადიოიზოტოპების დაშლა და დაგროვება	355
5. e^{-x} ფუნქციის ცხრილი	356
6. ატომურ აფეთქებისას ატომების გახლეჩით წარმოშობილ ნახლეჩთა და მათი დაშლის პროდუქტების ფარდობითი აქტივობა და გამოსხივე- ბათა დახასიათება	357
7. დ. ი. მენდლეევის პერიოდული სისტემა	359

Каландия Артемон Абрамович

Основы радиохимии и дозиметрии

(На грузинском языке)

Издательство «Сабчота Сакартвело»

Тбилиси, Марджанишвили, 5

1974

რედაქტორი ნ. კუპრაძე
მხატვარი გ. ქუთათელაძე
მხატვრული რედაქტორი გ. ტუხაშვილი
ტექნიკური რედაქტორი ჯ. რთველიაშვილი
კორექტორი ლ. კალანდაძე
გამომწვევი ა. სააკაძე

გადაეცა წარმოებას 25/V-72 წ.

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 6/III 74 წ.

საბეჭდი ქალაქი № 2 60 × 90¹/₁₆

ნაბეჭდი თაბახი 22,75

საარტიკულო-საგამომც. თაბახი 19,9

უე 08418 ტირაჟი 3000 შუკ. № 1523

ფასი 1 მან. 33 კაპ.

გამომცემლობა „საბჭოთა საქართველო“

თბილისი, მარჯანიშვილის 5.

საქ. შუკ. აკადემიის სტამბა, თბილისი 380060, კუტუზოვის 19.

Тип. АН Груз. ССР, Тбилиси, 380060, ул. Кутузова, 19

შეცდომების გასწორება

პნ.	სტრიქონი		ა რ ი ს	უნდა იყოს
	ზემოდან	ქვემოდან		
40		7	ნ. ბორის პირველი პოსულატის თანახმად, ელექტრონი ბრუნავს არა	ნ. ბორმა თავის თეორიას საფუძვლად დაუდო სტაციონარული ელექტრონი
59	1			
113	10		$-10^{\circ} - 107^{\circ}C^{\circ}$	$\sim 10^{\circ} - 107^{\circ}C^{\circ}$
191		16	$HAIO_3$	$HAIO$
198	10		$RaCl_2$	$BaCl_2$
201		2	$AlCl_3$ მიიღება Ac_2O_2 -ის	$AcCl_3$ მიიღება Ac_2O_3 -ის
212		15	$2O_2$	$2CO_2$
213	9		$3UO_2$	$3UO_4$
220			ნეპტუნიუმი მიიღება აგრეთვე შემთხვევით	პლუტონიუმის მიღების დროს ნეპტუნიუმი
230	14	13	საფორიდი	სამფტორიდი
231		10	რადიუმი	რადიუმი
250	10		პლუტონიუმის	პლუტონიუმის
339		18	$FeCl_2$ -ის	$FeCl_3$ -ის

ა. კალანდია