

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ბ. გოგიჩაიშვილი, დ. ჯინჭარაძე

ანალიზური ქიმია

ქუთაისი 2018

სახელმძღვანელო შეიცავს სამ ნაწილს: თეორიულს, თვისებით და რაოდენობით ანალიზს. პირველ ნაწილში განხილულია ხსნარები, ქიმიური წონასწორობა, ელექტროლიტური დისოციაცია. წყლის დისოციაცია, მარილთა ჰიდროლიზი, დაჟანგვა-აღდგენის რეაქციები და სხვა საკითხები. მეორე ნაწილში მოცემულია კატიონების და ანიონების აღმოჩენის კერძო რეაქციები, კატიონთა წილადური ანალიზი, კატიონთა სისტემატური ანალიზი ფტალმჟავა მეთოდით. მესამე ნაწილი შეიცავს რაოდენობითი ანალიზის ძირითად ქიმიურ, ფიზიკურ და ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს.

რეცენზენტები: პროფ. ქ. მ. დოქტორი ნ. ბოკუჩავა
ქ.მ.კ. გ. ჯინჭარაძე

რედაქტორი პროფ. ტ.მ.დოქტორი ლ. ლოდელიანი.

ISBN 99928-79-57-2

© აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა

წინასიტყვაობა

ანალიზური ქიმია, როგორც მეცნიერება ქიმიური ანალიზის მეთოდების შესახებ, ერთ-ერთ იმ ძირითად ზოგად ქიმიურ სასწავლო დისციპლინას წარმოადგენს, რომელიც შეისწავლება ქიმიურ, ქიმიურ-ტექნოლოგიურ და ფარმაციის ფაკულტეტის სტუდენტების მიერ. ანალიზური ქიმიის, როგორც მეცნიერული დისციპლინის როლი ძალიან მნიშვნელოვანია ახალგაზრდა სპეციალისტების მომზადების საქმეში. მომავალი ქიმიკოსი, ბიო-ქიმიკოსი, ტექნოლოგ-ქიმიკოსი ფორმირებას იწყებს ანალიზური ქიმიის შესწავლიდან, რომელიც სხვა აუცილებელ ქიმიურ და ზოგადსამეცნიერო დისციპლინებთან ერთად შეადგენს სპეციალური ცოდნის მყარ საფუძველს.

ქიმიურ-ფარმაცევტული მრეწველობა დიდ ყურადღებას აქცევს ახალ სამკურნალო პრეპარატების ძიებასა და მიღებას. სამკურნალო პრეპარატების წარმოება ახლებურად იყენებს მედიკამენტების ხარისხისადმი კონტროლს. სამკურნალო პრეპარატების სტანდარტიზაცია და შემოწმება პირველ რიგში თვით მწარმოებელ ფაბრიკა-ქარხნებში არსებულ საკონტროლო ანალიზურ ლაბორატორიებში ტარდება. ყოველივე ეს კი მოითხოვს მათი ანალიზის ობიექტური მეთოდების დამუშავებას.

უკანასკნელ წლებში ანალიზური ქიმიის თეორიამ და პრაქტიკამ ძირეული ცვლილებები განიცადა. მოწინავე ქვეყნებში არსებულ მეცნიერულ და ტექნიკურ დონემდე მისაღწევად დიდი ძალისხმევა საჭირო. თანამედროვე მეთოდების დაუფლების საქმეში განსაკუთრებული მისია უმაღლეს სასწავლებლებს ეკისრებათ. მათ მკვეთრად უნდა აამაღლონ სპეციალისტების ინტელექტუალური და პროფესიული დონე, ამისათვის გადაუდებელ ამოცანას წარმოადგენს სტუდენტების უზრუნველყოფა თანამედროვე სახელმძღვანელოებით, რომლებშიც ასახული იქნება ქიმიის ბოლოდროინდელი მიღწევები.

სახელმძღვანელოზე მუშაობის დროს ჩვენი მიზანი იყო, მომავალ-

ლი სპეციალისტებისათვის გაგვეცანი ნივთიერებათა ქიმიური შედგენილობის ანალიზის სხვადასხვა მეთოდები.

სახელმძღვანელოს სტრუქტურის განსაზღვრისას ძირითადად გავითვალისწინეთ მომქმედი სასწავლო პროგრამა. სახელმძღვანელო შედგება სამი ნაწილისაგან: ანალიზური ქიმიის თეორიული საკითხებისაგან, თვისებითი ანალიზის კურსის და რაოდენობითი ანალიზის კურსისაგან. მოყვანილია ინფორმაცია სამკურნალო პრეპარატების, ბუნებრივი და ტექნიკური ობიექტების ანალიზის შესახებ.

ანალიზური ქიმიის თეორიული ნაწილი მოიცავს ზოგადი, ფიზიკური და ანალიზური ქიმიის ძირითადი ცნებების განმარტებებს. თვისებითი ანალიზის კურსში მოცემულია, როგორც კატიონების სისტემური ანალიზის ტრადიციული მეთოდები, ასევე ახალი, ფტალმჟავა მეთოდის გამოყენებით, რომელიც ტრადიციულ მეთოდთან შედარებით უპირატესობით ხასიათდება.

თანამედროვე ანალიზური ქიმია ექსპერიმენტული ფიზიკისა და ფიზიკური ქიმიის ძლიერ გავლენას განიცდის. მეცნიერების განვითარება, მეთოდების სიზუსტე განსაზღვრავს ანალიზური ქიმიის განვითარების ძირითად მიმართულებებს. ამიტომ სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს ანალიზის ფიზიკური და ფიზიკურ – ქიმიური მეთოდები. რაოდენობითი ანალიზის კურსში ფართოდ არის განხილული ინსტრუმენტული მეთოდები.

სახელმძღვანელო დიდ დახმარებას გაუწევს უმაღლესი სასწავლებლების ქიმიურ, ფარმაცევტულ, ქიმიურ – ტექნოლოგიური ფაკულტეტის ბაკალავრებს და მაგისტრებს. ასევე გამოადგებათ ანალიტიკოსებს, ქიმიის მასწავლებლებს და ამ მეცნიერებით დაინტერესებულ პირებს.

შესავალი

ანალიზური ქიმია არის მეცნიერება ნივთიერებათა ქიმიური შედგენილობის და ქიმიური სტრუქტურის განსაზღვრის პრინციპებისა და მეთოდების შესახებ.

ანალიზური ქიმია იყოფა თვისებით და რაოდენობით ანალიზად. თვისებითი ანალიზის ამოცანას შეადგენს ნივთიერებისა თუ სხვადასხვა ქიმიური შენაერთების ნარევის, შემადგენელი ნაწილების აღმოჩენა; ხოლო თითოეული ელემენტისა თუ იონის რაოდენობითი განსაზღვრა რაოდენობითი ანალიზის სფეროს წარმოადგენს. ვიდრე რაოდენობით განსაზღვრებს შევუდგებოდეთ, საჭიროა ნივთიერების თვისებითი შედგენილობის ცოდნა, რადგანაც რაოდენობითი განსაზღვრების მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია გამოსაკვლევი ნივთიერების შედგენილობაზე, ამიტომ, თვისებითი ანალიზის შესწავლა წინ უძღვის რაოდენობითი ანალიზის შესწავლას.

თანამედროვე ანალიზური ქიმიის, როგორც მეცნიერების სახეს განსაზღვრავს რიგი ფაქტორები, მათ შორის, ატომურ-აბსორბციული მეთოდების ინტენსიური განვითარება, პროგრესი ორგანული ნივთიერებების ანალიზში ქრომატოგრაფიული მეთოდების საშუალებით, რენტგენული, ბირთვულ-ფიზიკური მეთოდების ფართოდ გამოყენება, იონომეტრიის მეთოდების დანერგვა, იონსელექციური ელექტროდების შექმნა და გამოყენება, ლითონების დაყოფისა და განსაზღვრის მიზნით ორგანული ანალიზური რეაგენტების გამოყენების განვითარება, კომპიუტერული სისტემის დანერგვა.

რა ამოცანებს უნდა წყვეტდეს წარმოებაში ქიმიურ-ანალიზური კონტროლი? ეს არის ნედლეულის ხარისხის განსაზღვრა, წარმოების პროცესების კონტროლი, გამოშვებული პროდუქტის ხარისხის შეფასება, წარმოების ნარჩენების ანალიზი მათი უტილიზაციისა და გარემოს დაცვის მიზნით.

ანალიზური ქიმიის ზოგადი კურსი მოიცავს თვისებით ანალიზს, ტრადიციულ (ქიმიურ) რაოდენობით ანალიზს და ანალიზის ფიზი-

კურ-ქიმიურ, ნაწილობრივ ფიზიკურ მეთოდებს. ქიმიური მეთოდები დამყარებულია ქიმიურ რეაქციებზე. ანალიზისათვის ისეთი რეაქციები გამოიყენება, რომლებსაც თან ახლავს თვალსაჩინო გარეგნული ეფექტი, მაგალითად: ხსნარის შეფერილობის შეცვლა, აირების გამოყოფა, ნალექის წარმოქმნა ან გახსნა და ა.შ.

ფიზიკური მეთოდებით ანალიზის ჩატარებისას სწავლობენ ნივთიერების ფიზიკურ თვისებებს: სიმკვრივეს, სიბლანტეს, ზედაპირულ დაჭიმულობას, სიმღვრივეს, გარდატეხის მაჩვენებელს, პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვას, დიელექტრულ შეღწევადობას, ელექტროგამტარობას, რადიაქტიურობას და სხვა თვისებებს.

ფიზიკურ მეთოდებს მიეკუთვნება: სპექტრული, ლუმინისცენტური, რენტგენოსტრუქტურული, ბირთვულ-ფიზიკური და სხვა.

ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების საშუალებით სწავლობენ იმ ფიზიკურ მოვლენებს, რომლებიც თან ახლავს ქიმიურ რეაქციებს. მათ მიეკუთვნება ელექტროქიმიური, ფოტომეტრული და სხვა მეთოდები.

ანალიზური ქიმიის სწავლების ერთ-ერთ სადისკუსიო საკითხად რჩება თვისებითი ანალიზი. არსებობს აზრი, რომ თვისებითი ანალიზის სწავლების სისტემა მოძველდა, მითუმეტეს, თუ იგი ანალიზის გოგირწყალბადოვან სქემაზეა დაყრდნობილი. პრაქტიკაში კლასიკური თვისებითი ანალიზი თითქმის აღარ გამოიყენება. აუცილებლობისას კი მიმართავენ სპექტრულ ანალიზს, რადიოქიმიურ და მსგავს მეთოდებს. თვლიან, რომ ანალიზის სასწავლო კურსში არასაკმაოდაა გამოყენებული თანამედროვე მეთოდები – ექსტრაქცია, ქრომატოგრაფია და შენიღბვა.

ანალიზისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნებია:

ანალიზის შედეგების სისწორე, მიღებული შედეგების სიახლოვე ჭეშმარიტებასთან; ანალიზის განმეორადობა, განმეორებითი ცდების ჩატარებისას იგივე ან მიახლოებული შედეგების მიღება. აღმოჩენის დაბალი ზღვარი ან მგრძნობიარობა – ნივთიერების ის მინიმალური კონცენტრაცია ან რაოდენობა, რომელიც გარკვეული ცდომილებით

შეიძლება განისაზღვროს მოცემული მეთოდით.

ექსპრესულობა – ანალიზის შესრულების სისწრაფეა, რაც უფრო ნაკლებია ანალიზის ჩატარებაზე დახარჯული დრო, მით მეტია ექსპრესულობა;

შერჩევითობა – რეაქტივი არ უნდა შედიოდეს რეაქციაში ნარევეში არსებულ სხვა ნივთიერებებთან. გარეშე ნივთიერებების არსებობა არ უნდა ამახინჯებდეს ანალიზის შედეგებს;

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, ქიმიური ანალიზი, როგორც კონტროლი წარმოებისა, უნდა შესრულდეს იმდენად სწრაფად, რომ მის მონაცემებზე დაყრდნობით შესაძლებელი გახდეს ტექნოლოგიური პროცესების რეგულირება.

თანამედროვე პირობებში, საკმაოდ გაიზარდა ანალიზური ქიმიის როლი. კლასიკური მეთოდები დალექვა, ფილტრაცია და სხვა ისეთი პროცესებია, რომლებსაც ხანგრძლივი დრო სჭირდებათ და არ იძლევა საშუალებას სრულყოფილად განისაზღვროს მიკრომინარევეები. ამჟამად, ხშირად გამოიყენება ისეთი მასალები, რომლებიც 10⁻²-10⁻⁶ მინარევს შეიცავენ. ამის გამო, უპირველეს ყოვლისა, შემუშავებული იქნა ოპტიკური და ელექტროქიმიური მეთოდები. ასევე შესწავლილი იქნა ადსორბციის მოვლენა, ნივთიერებათა განაწილება წყალსა და ორგანულ ხსნარებს შორის, რადიოაქტიურობა, ელექტრული და მაგნიტური ველის ურთიერთქმედება ნივთიერებებთან. ბუნებრივია, ამის გამო ანალიზურმა ქიმიამ დაიწყო ინტენსიური განვითარება. ახალმა მეთოდებმა, რომლის გარეშე წარმოუდგენელია ქიმიური და ფიზიკური დაკვირვებები. შეუძლებელი გახდა მკვეთრი ზღვარის გავლება ანალიზის ქიმიურ, ფიზიკურ-ქიმიურ და ფიზიკურ მეთოდებს შორის.

ანალიზის კლასიკური ქიმიური მეთოდები, ისევე, როგორც ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები, დაფუძნებულია ამა თუ იმ ქიმიურ რეაქციაზე. ფიზიკურ მეთოდებში ქიმიური რეაქცია არა გვაქვს ან აქვს მეორახისხოვანი მნიშვნელობა, თუმცა სპექტრალურ ანალიზში ხაზის ინტენსივობა ზოგჯერ არსებითად დამოკიდებულია ქიმიურ

რეაქციაზე ნახშირის ელექტროდზე ან აირადი ნივთიერების ალზე. სპექტრული ანალიზის ძირითადი პრინციპი მდგომარეობს ატომის გამოსხივების ინტენსივობის გაზომვაზე, რომელიც მაღალ ტემპერატურაზე აღიგზნება, ე.ი. აქ საქმე გვაქვს სუფთა ფიზიკურ პრინციპთან.

ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდის განსაკუთრებულ თვისებას, ჩვეულებრივ, ქიმიურისგან განსხვავებით, წარმოადგენს ის, რომ ამ შემთხვევაში უკვალოდ კი არ გამოიყენება ნივთიერების ურთიერთქმედება ამა თუ იმ რეაქტივთან, არამედ ამავე დროს ურთიერთქმედება ელექტრული დენისა ან სხვადასხვა ველის და ნივთიერების გამოსხივებით. ამ მხრივ ფიზიკა-ქიმიური მეთოდები ახლოს არიან ფიზიკურთან.

ამჟამად, ანალიზის მეთოდების დიდი უმრავლესობა დამყარებულია არა ქიმიურ რეაქციებზე, არამედ ფიზიკურ გაზომვებზე. დღეს ქიმიური ანალიზი არა მხოლოდ ქიმიურ, არამედ ფიზიკურ. შესაბამისად, ტერმინი «ანალიზური ქიმია» ფიზიკური მეთოდების პროგრესის პირობებში, გარკვეულწილად უზუსტო და ვიწრო ხდება, ვინაიდან იგი არ ასახავს რეალურად არსებულ სიტუაციას. მაგალითად, უსამართლო იქნებოდა გველაპარაკა ქიმიაზე რენტგენფლუორესცენტული ან რენტგენრადიომეტრული განსაზღვრის დროს. ამიტომ «ანალიზურ ქიმიასთან» ერთად, ალბათ თანაბარი უფლებები უნდა მიეკუთვნოს «ანალიზური ფიზიკის» ცნებასაც. ლაპარაკია მეცნიერების დარგზე, რომელშიც მოცემულია ქიმიური ანალიზის ფიზიკური მეთოდები. გამოითქვა აზრი, რომ ამ დარგის დასახელებისათვის დაკანონდეს სიტყვა «ანალიტიკა», რომლის შემადგენელი ნაწილები იქნება, როგორც ანალიზური ქიმია, ასევე ანალიზური ფიზიკა. ანალიზური ქიმია განიხილავს ანალიზის ქიმიურ და ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს და მჭიდრო კავშირს შეინარჩუნებს ქიმიასთან, ანალიზურ ფიზიკაში კი შევა ანალიზის ფიზიკური მეთოდები (სპექტროსკოპული, ბირთვულ-ფიზიკური), რომლებიც დაკავშირებულია სიმკვრივის, მაგნიტური მომენტისა და სხვა პარამეტრების გა-

ზომეებთან. «ანალიტიკა» არა მხოლოდ გააერთიანებს ამ ორ მიმართულებას, არამედ მას თავის საკუთარ მეცნიერულ შინაარსაც შესძენს; ანალიზის ყველა მეთოდს, იქნება ეს ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური, თუ ფიზიკური. ბევრი რამ აქვს საერთო. მაგალითად, შეიძლება დავასახელოთ სინჯების აღების თეორია, ქიმიური ანალიზის მეტროლოგია, წარმოდგენები ნიმუშების სტანდარტიზაციაზე და სხვა.

ანალიზური ქიმია არის მეცნიერება ანალიზის მეთოდების შესახებ, ხოლო ქიმიურ ანალიზად შეიძლება მივიჩნიოთ საკვლევი ნივთიერებების ქიმიური შედგენილობის გარკვევა იმ ცნობილი მეთოდებით, რომლებიც პრაქტიკაში გამოიყენება.

ანალიზური ქიმიის პროგრესი იმ თეორიული საფუძვლების განვითარებას ემყარება, რომლებიც სხვა ქიმიური სამეცნიერო დისციპლინებისა, და პირველ რიგში, ზოგადი, არაორგანული, ორგანული და ფიზიკური ქიმიის შესაბამის ნაწილებთან მჭიდრო კავშირშია.

ჩვენ შევეცადეთ სახელმძღვანელოში მეტ-ნაკლები სისრულით აგვესახა ქიმიური ანალიზის დღევანდელი დონე. თითოეული სამუშაო სახელმძღვანელოში სრულდება მხოლოდ მას შემდეგ, რაც ეცნობა თეორიულ საკითხებს და პრაქტიკულ მითითებებს. აღწერილი სამუშაოების უმრავლესობა წარმოადგენს ტიპიურს მოცემული მეთოდისათვის და შესაბამისად შესრულების შემთხვევაში იძლევა კარგ შედეგებს. ნაშრომი ითვალისწინებს რა განათლების სისტემაში ჩატარებულ რეფორმებს და შესაბამისად სასწავლო პროგრამების ცვლილებებს, თეორიული და პრაქტიკული საკითხები სრულ შესაბამისობაშია «ანალიზური ქიმიის» სწავლების სასწავლო პროგრამასთან.

ავტორები მაღლიერების გრძნობას გამოხატავენ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ფიზიკური და კოლოიდური და ანალიზური ქიმიის მიმართულების თანამშრომლების მიმართ, რომლებიც გაეცნენ ნაშრომს და დაგვცხმარნენ გაგვეუმჯობესებთან თეორიუ-

ლი და პრაქტიკული ნაწილები.

მიუხედავად ჩვენს მიერ გაწეული დიდი შრომისა, ნაშრომი არ შეიძლება იყვეს სრულყოფილი, ამიტომ დიდი სიამოვნებით იქნება მიღებული და გათვალისწინებული მკითხველის კრიტიკული შენიშვნები.

თავი 1. ანალიზური ქიმიის თეორიული საკითხები

1.1. ხსნარები

ბუნებაში და ტექნიკაში ფართოდ არის გავრცელებული დისპერსული სისტემები. ეს ისეთი სისტემებია, როდესაც ერთი ნივთიერება ნაწილაკების სახით თანაბრად არის განაწილებული სხვა ნივთიერების შიგნით.

დისპერსულ სისტემებში ანსხვავებენ დისპერსულ ფაზას – წვრილად დანაწევრებულ ნივთიერებას და დისპერსულ არეს – ერთგვაროვან ნივთიერებას, რომელშიც განაწილებულია დისპერსული ფაზა. მაგალითად, მღვრიე წყალი, რომლის შემცველობაში არის თიხა. დისპერსულ ფაზას წარმოადგენს თიხის მყარი ნაწილაკები, დისპერსულ არეს კი წარმოადგენს წყალი.

დისპერსულ სისტემებს ეკუთვნიან ჩვეულებრივი (ჰემმარიტი) ხსნარები, კოლოიდური ხსნარები, ასევე სუსპენზიები და ემულსიები. ყველა ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ნაწილაკთა ზომებით, ე.ი. დისპერსულობის ხარისხით. სისტემები, რომლის ნაწილაკების ზომა 100 ნმ-ზე (ნმ–ნანომეტრი $1\text{ნმ}=10^{-9}\text{მ}$.) წარმოქმნიან უხეშ სისტემებს – სუსპენზიებს და ემულსიებს.

სისტემები, რომლის შემადგენელი ნაწილაკები 1 ნმ-ზე ნაკლებია ჰემმარიტ ხსნარებს წარმოქმნიან. ისინი შესდგებიან მოლეკულების, ატომების და იონებისაგან. მათ განიხილავენ, როგორც ერთფაზიან სისტემას. ასეთ სისტემებს ჰომოგენურს უწოდებენ. მათთვის გამყოფი ზედაპირი არ არის დამახასიათებელი. ყველა შემადგენელი ნაწილაკი ერთგვაროვანია, როგორც შედგენილობით, ისევე თვისებებით.

ხსნარები – არის ჰომოგენური (ერთფაზიანი) სისტემა, რომელიც შესდგება ორი ან მეტი კომპონენტისაგან (შემადგენელი ნაწილაკებისაგან) და მათი ურთიერთქმედების პროდუქტებისაგან.

თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზის ჩატარების დროს მუშაობა ძირითად ხსნარებთან მიმდინარეობს. განსაკუთრებით ჰემმა-

რიტ ხსნარებთან, სადაც გახსნილი ნივთიერების მოლეკულები განაწილებულია გამხსნელის მოლეკულებს შორის. მყარი ნივთიერების წყალში ან სხვა გამხსნელში გახსნისას, მოლეკულები ნივთიერების ზედაპირიდან გადადის გამხსნელში და დიფუზიის შედეგად გამხსნელის მთელ მოცულობაში ნაწილდება. გახსნის პროცესი შექცევადია. ხსნარში მოლეკულების გადასვლას თან სდევს ხსნარიდან მოლეკულების გამოყოფა; რაც უფრო მაღალია ხსნარის კონცენტრაცია, მით ინტენსიურად მიდის უკუპროცესი. ბოლოს დგება მომენტი, როდესაც დროის ერთეულში ხსნარიდან გახსნილი ნივთიერების იმდენივე მოლეკულა გამოიყოფა, რამდენიც ხსნარში გადადის. ასეთ ხსნარს ნაჯერი ეწოდება.

ნაჯერ ხსნარში ნივთიერების შემცველობა მოცემულ პირობებში ამ ნივთიერების ხსნადობას განსაზღვრავს. ხსნადობა – არის ნივთიერების თვისება გაიხსნას წყალში ან სხვა გამხსნელში. სხვადასხვა ნივთიერების ხსნადობა მოცემულ გამხსნელში სხვადასხვაა. ყოველი გამხსნელის გარკვეულ რაოდენობაში მოცემულ ფიზიკურ პირობებში, შეიძლება გაიხსნას მოცემული ნივთიერების მხოლოდ განსაზღვრული რაოდენობა.

გამხსნელის ხასიათის მიხედვით, ხსნარები იყოფა წყალხსნარებად და არაწყალხსნარებად. უკანასკნელის მაგალითებია: ნივთიერებების ხსნარები სპირტში, აცეტონში, ქლოროფორმში და სხვა. მარილების, მჟავებისა და ტუტეების უმეტესობა წყალხსნარების სახით გამოიყენება.

ყველა ნივთიერება განსაზღვრული ხსნადობით ხასიათდება მოცემულ გამხსნელში.

ხსნადობა - ნივთიერების თვისებაა გაიხსნას წყალში ან სხვა გამხსნელში. წყალში იხსნებიან მყარი ნივთიერებები (სოდა, შაქარი და სხვა) სითხეები (სპირტი და სხვა) და აირადი ნივთიერებები (გოგირდწყალბადი, ამიაკი და სხვა). ხსნადობა გამოისახება ნივთიერების მასით, რომელიც მოცემულ ტემპერატურაზე შეიძლება გაიხსნას 100 გ გამხსნელში. ამ რიცხვს ეწოდება ნივთიერების ხსნადობა. ხან-

დახან გამოისახება გახსნილი ნივთიერების რაოდენობით 1 ლიტრ ხსნარში (მოლი/ლიტრში), ხსნადობა დამოკიდებულია ნივთიერების ბუნებაზე, ტემპერატურასა და წნევაზე. თუ ნივთიერების გახსნა მიმდინარეობს სითბოს შთანთქმით, მაშინ ტემპერატურის გაზრდას მიყავს ხსნადობის გაზრდამდე დაპირიქით თუ გახსნისას სითბო გამოიყოფა, ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ხსნადობის შემცირებას. მყარი ნივთიერების უმრავლესობის ხსნადობა ტემპერატურის გაზრდით, იზრდება აირადი ნივთიერების ხსნადობა წნევის გაზრდით იზრდება, შემცირებით კი მცირდება. მყარი ნივთიერების ხსნადობაზე წნევა პრაქტიკულად არ მოქმედებს.

ბუნებაში არ არსებობს აბსოლუტურად უხსნადი ნივთიერებები. ყველა ნივთიერება წყალში ხსნადობის მიხედვით იყოფა სამ ჯგუფად: კარგად ხსნადი, მცირედ ხსნადი და პრაქტიკულად უხსნადი. უკანასკნელს უხსნადსაც უწოდებენ თუ 100გ წყალში იხსნება 10გ-ზე მეტი ნივთიერება, კარგად ხსნადს უწოდებენ, თუ 100 გ წყალში იხსნება 1გ-ზე ნაკლები -მცირედ ხსნადია, თუ იხსნება 0,01 გ-ზე ნაკლები, ნივთიერება უხსნადია. ხსნარს, რომლის 100 გრამ გამხსნელში გახსნილი ნივთიერების მასის რაოდენობა ტოლია მისი ხსნადობისა - ნაჯერი ეწოდება. მაგ. NaCl-ის ხსნადობა წყალში 20°C-ზე არის 36 გ. თუ მოცემულ ტემპერატურაზე ხსნარს დაუმატებთ უმნიშვნელო რაოდენობის NaCl, ის აღარ გაიხსნება და ნალექის სახით დარჩება. ხსნარს, რომელის 100 გ. გამხსნელზე გახსნილი ნივთიერება იმაზე ნაკლებია, ვიდრე მისი ხსნადობა მოცემულ ტემპერატურაზე, არანაჯერი (უჯერი) ხსნარი ეწოდება.

ხსნარების ძირითადი მახასიათებელია მათი შედგენილობა. თუ რომელი ნივთიერებებისაგან შედგება ხსნარი და რა რაოდენობით შეიცავს მათ. ნივთიერებების შემცველობა ხსნარში შეიძლება გამოსახული იყოს გახსნილი ნივთიერების რაოდენობით მასურ წილებში. მოლეზით ერთ ლიტრ ხსნარში, მოლ-ეკვივალენტებით ერთ ლიტრ ხსნარში, გრამებით ან მილიგრამებით ხსნარის ერთ მილილიტრში და ა.შ.

გახსნილი ნივთიერების მასური წილი – ეს არის (პროცენტული კონცენტრაცია) გახსნილი ნივთიერების თანაფარდობა მთელი ხსნარის რაოდენობასთან. მასური წილი ω , გახსნილი ნივთიერების მასა m_1 , ხსნარის საერთო მასა m .

$$\omega = \frac{m_1}{m}, \text{ პროცენტებში } \omega\% = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%.$$

ან სხვაგვარად, ეს არის გახსნილი ნივთიერების რაოდენობა 100 გრამ ხსნარში.

განვიხილოთ მაგალითები:

მაგ 1. 50გ ხსნარი შეიცავს 2,5გ კალიუმის ჰიდროქსიდს KOH, განვსაზღვროთ KOH-ის მასური წილი (%).

მოცემულია:

$$m(\text{ხსნარის}) = 50\text{გ}$$

$$m(\text{KOH}) = 2,5 \text{ გ}$$

$$\omega(\text{KOH}) = ?$$

ამოხსნა :

$$50 \text{ გ. ხსნარი შეიცავს } 2,5 \text{ გ. KOH}$$

$$100 \text{ გ. } \text{---} \text{---} \text{---} X \text{ გ. KOH}$$

$$X = \frac{2,5 \cdot 100}{50} = 5\%$$

$$\omega(\text{KOH}) = 5\%$$

$$\text{პასუხი: } \omega(\text{KOH}) = 5\%$$

მაგ.2 განვსაზღვროთ წყლისა და შაქრის მას, რომელიც საჭიროა 400გ 5%-იანი ხსნარისათვის.

მოცემულია:

$$m(\text{ხსნარის}) = 400\text{გ}$$

$$\omega(\text{შაქრის}) = 5\%$$

$$m(\text{შაქრის}) = ?$$

$$m(\text{წყლის}) = ?$$

ამოხსნა :

ვიანგარიშობთ შაქრის მასა, რომელსაც შეიცავს

400 გ 5%-იანი ხსნარი:

$$100 \text{ გ. ხსნარი შეიცავს } 5 \text{ გ შაქარს}$$

$$400 \text{ გ. } \text{---} \text{---} \text{---} X \text{ გ. } \text{""""}$$

$$X = \frac{400 \cdot 5}{100} \text{ გ} = 20 \text{ გ შაქარს}$$

ვიანგარიშობთ წყლის მასა რომელსაც 400 გ 5%-იანი ხსნარი შეიცავს $400 - 20 = 380$ გ. ე. 20 გ შაქარს და 380გ წყალს.

$$\text{პასუხი: } 20 \text{ გ შაქარი და } 380 \text{ გ წყალი.}$$

მაგ. 3 გამოიანგარიშეთ 500 სმ³ 2%-იანი უწყლო აზოტმჟავას ხსნარის მასა (სიმკვრივე ხსნარისა $\rho = 1,009$ გ/სმ³).

მოცემულია:

$$V(\text{ხსნარის}) = 500 \text{ სმ}^3$$

$$m(\text{HNO}_3) = 2\%$$

$$\rho(\text{ხსნარის}) = 1,009 \text{ გ/სმ}^3$$

$$m(\text{უწყლო HNO}_3\text{-ის}) = ?$$

ამოხსნა :

გამოვთვალოთ 500 სმ³ 2%-იანი ხსნარის მასა

ფორმულით $\rho = m/V$ აქედან $m(\text{ხსნარის}) = \rho V$

$$m(\text{ხსნარის}) = 500 \cdot 1,009 \text{ გ} = 504,5 \text{ გ},$$

ვსაზღვრავთ უწყლო HNO₃-ის მასას, რომელსაც შეიცავს 504,5გ (500სმ³) 2%-იან ხსნარი.

100 გ. ხსნარი შეიცავს 2 გ. უწყლო HNO₃-ს

504,5გ. ————— X გ. უწყლო HNO₃-ს

$$X_{\text{გ}} = 10,09\text{გ/}$$

პასუხი: $m(\text{უწყლო HNO}_3\text{-ის}) = 10,09\text{გ}.$

მაგ. 4. 750 გ. წყალში გახსნილია 50 გ. მარილი გამოიანგარიშეთ მარილის მასური წილი (%) ხსნარში.

მოცემულია:

$$m(\text{წყლის}) = 750\text{გ}$$

$$m(\text{მარილის}) = 50\text{გ}.$$

$$\omega(\text{მარილის}) = ?$$

ამოხსნა:

$$\text{ხსნარის მასა } 750 + 50 = 800\text{გ}$$

გამოვიანგარიშოთ მასური წილი მარილისა ხსნარში.

800 გ. ხსნარი შეიცავს 50 გ

100გ. ————— X გ. მარილს

$$X = \frac{50 \cdot 100}{800} \text{ გ}$$

პასუხი: $\omega(\text{მარილის}) = 6,25\%.$

მაგ.5. განვსაზღვროთ მასური წილი (%) სინესტისა ჩამქრალ კირში, თუ წონაკის მასა გამოშრობამდე იყო 1,84 გ., ხოლო გამოშრობის შემდეგ 1,70 გ-ია

მოცემულია:

$$m_1 (\text{ნოტიო წონაკი}) = 1,84\text{გ}$$

$$m_2 (\text{მშრალი წონაკის}) = 1,70\text{გ}.$$

ამოხსნა:

ვსაზღვრავთ სინესტის მასას 1,84 -

$$1,70 = 0,14\text{გ}.$$

1,84გ. კირი შეიცავს 0,14 გ. სინესტს

ა(სინესტის)= ?

$$100\% \cdot \frac{0,14 \cdot 100}{1,84} = 7,61\% \cdot X \text{ გ. სინესტეს}$$

პასუხი: ა(სინესტის)=7,61%.

მოლი. მოლური მასა. საერთაშორისო სისტემაში (СИ) ნივთიერების რაოდენობის ერთეულად მიღებულია მოლი.

მოლი ნივთიერების რაოდენობაა, რომელიც იმდენ სტრუქტურულ ერთეულს შეიცავს (მოლეკულას, ატომს, ელექტრონს და სხვა) რამდენ ნახშირბადის ატომს შეიცავს 0,012 კგ ნახშირბად ^{12}C -ის იზოტოპი.

ნივთიერების ერთი მოლის მასას მოლურ მასას უწოდებენ. ძირითად ერთეულს მოლურ მასაში СИ (სისტემაში) წარმოადგენს კილოგრამს მოლზე (კგ/მოლს), მაგრამ ხშირად გამოიყენებენ გრამს მოლზე (გ/მოლი). ამა თუ იმ ნივთიერების მოლური მასა რიცხობრივად ტოლია ფარდობითი ატომური მასის ან ფარდობითი მოლეკულური მასის, მაგალითად ფარდობითი მოლეკულური მასები Al , C , N_2 , H_2O დაახლოებით ტოლია 27, 12, 28, 18 ხოლო მათი მოლური მასები შესაბამისად 27, 12, 28, 18 გ/მოლია.

ნივთიერების მასას და რაოდენობას აქვს სხვადასხვა რიცხვითი მნიშვნელობები. მაგალითად ერთ მოლი Mg ტოლია ერთ მოლ Ca -ის მაგრამ ამ მათი მოლური მასები განსხვავდება. (შესაბამისად 24,3 გ და 40გ.).

არ შეიძლება ნივთიერების რაოდენობად ν მივიღოთ m და V მოცულობა, რადგანაც ნივთიერების რაოდენობა გამოისახება მხოლოდ მოლეზში. მაგალითად 2 მოლი ნივთიერება მარილის ν რაოდენობაა, მარილის 5 გრამი m - მარილის მასაა, V - 3 ლიტრი მარილის მოცულობაა.

ნივთიერების მასასა m , ნივთიერების რაოდენობასა ν და მოლურ მასას M არსებობს მარტივი თანაფარდობები:

$$m = \nu(X) \cdot M(X);$$

$$\nu(X) = \frac{m}{M(X)} ;$$

$$M(X) = \frac{m}{\nu(X)} .$$

ეს ფორმულები მოსახერხებელია ტიტრომეტრული ანალიზის ამოცანების ამოსახსნელად.

განვიხილოთ შესაბამისი მაგალითები:

მაგ. 1 განვსაზღვროთ ნატრიუმის ჰიდროქსიდის NaOH-ის 3 მოლის მასა.

მოცემულია:

$$\nu(\text{NaOH}) = 3 \text{ მოლი.}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ გ/მოლი.}$$

ამოხსნა:

$$m = \nu(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH});$$

$$m(\text{NaOH}) = 3 \cdot 40 = 120 \text{ გ}$$

$$m(\text{NaOH}) = ?$$

პასუხი: $m(\text{NaOH}) = 120 \text{ გ}$

მაგ. 2 განვსაზღვროთ კალციუმის კარბონატის (CaCO_3)-ის რაოდენობა, თუ მისი მასა 80 გრამის ტოლია.

მოცემულია:

$$m(\text{CaCO}_3) = 80 \text{ გ}$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,06 \text{ გ/მოლი}$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)}$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{80}{100,06} \text{ მოლი} = 0,79 \text{ მოლი}$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = ?$$

პასუხი: $\nu(\text{CaCO}_3) = 0,79 \text{ მოლი.}$

მაგალითი 3. გამოიანგარეშეთ მილური მასა, თუ ცნობილია, რომ მისი მასა 49 გ და ნივთიერების რაოდენობა შეადგენს 0,5 მოლს.

მოცემულია:

$$m = 49 \text{ გ.}$$

$$\nu(X) = 0,5 \text{ მოლი}$$

ამოხსნა

$$M(X) = \frac{m}{\nu(X)} .$$

$$M(X) = \frac{49}{0,5} \text{ გ} = 98 \text{ გ/მოლი}$$

$$M(X) = ?$$

პასუხი: $M(X) = 98 \text{ გ/მოლი.}$

მოლური კონცენტრაცია. მოლალობა.

მოლური კონცენტრაცია - არის გახსნილი ნივთიერების ფარდობა ხსნარის მოცულობასთან, რომელშიც არის გახსნილი და აღინიშნება C ასოთი.

$$C(X) = \frac{v(X)}{V}$$

ძირითადი ერთეული მოლური კონცენტრაციის (C - სისტემაში) წარმოადგენს მოლი კუბურ მეტრში (მოლი/მ³) ჩვეულებრივად იყენებენ მოლს ლიტრზე (მოლი/ლ). შესაბამისად მოლური კონცენტრაცია გვიჩვენებს გახსნილი ნივთიერების რაოდენობას, რომელსაც 1 ლიტრი ხსნარი შეიცავს.

მოლურ კონცენტრაციას შემდეგი სახით ჩაწერენ: $C(HCl) = 3 \text{ მოლ/ლ}$; $C(H_2SO_4) = 0,01 \text{ მოლ/ლ}$; $C(NH_4) = 0,5 \text{ მოლ/ლ}$; და ა. შ.

თუ ცნობილია ნივთიერების მასა 1 ლიტრ ხსნარში, მოლური კონცენტრაცია მოსახერხებელია გამოვიანგარიშოთ ფორმულით

$$C(X) = \frac{m}{M(X)}$$

როგორც თვისებებით ასევე რაოდენობით ანალიზში ხშირად საჭიროა მოლური კონცენტრაციის ხსნარების მომზადება. განვიხილოთ მაგალითები:

მაგალითი 1. განვსაზღვროთ, KOH -ის რა მასა დაგვჭირდება 250მლ ხსნარის დასამზადებლად, რომლის მოლური კონცენტრაცია $C(KOH) = 0,1 \text{ მოლი/ლ}$?

მოცემულია:

$V(\text{ხსნარის}) = 250 \text{ მლ (ე.ი. } 250 \text{ სმ}^3)$

$C(KOH) = 0,1 \text{ მოლი/ლ}$

$M(KOH) = 56,11 \text{ გ/მოლი}$

$m(KOH) = ?$

ამოხსნა

ვსაზღვრავთ KOH -ის რაოდენობას, რომელსაც შეიცავს 250 მლ ხსნარი

1000 მლ ხსნარი შეიცავს 0,1 მოლ KOH

250 მლ ————— X მოლ KOH

$$X = \frac{0,1 \cdot 250}{1000} \text{ მოლი} = 0,025 \text{ მოლი}$$

ვანგარიშობთ KOH -ის მასას რომელ-

საც 250 მლ ხსნარი შეიცავს.

1მოლი KOH შეადგენს 56,11გ KOH

0,025 მოლი KOH ————— X გ KOH

$$X = \frac{0,025 \cdot 56,11}{1} \text{ გ} = 1,4038 \text{ გ.}$$

პასუხი: $m(\text{KOH}) = 1,4038 \text{ გ.}$

მაგალითი 2. განსაზღვრეთ მოლური კონცენტრაცია გოგირდმჟავას ხსნარისა, თუ ამ ხსნარის 100 მლ (100სმ³) შეიცავს 4,9 უწყლო გოგირდმჟავას.

მოცემულია:

$V(\text{ხსნარისა}) = 100 \text{ მლ (100სმ}^3\text{)}$

$m(\text{უწყლო } \text{H}_2\text{SO}_4) = 4,9 \text{ გ}$

$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,08 \text{ გ/მოლი}$

$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$

ამოხსნა

გვაზღვრავთ 1000 სმ³ (მლ) ხსნარში უწყლო H_2SO_4 -ის მასას.

100სმ³ ხსნარი შეიცავს 4,9 გ უწყლო H_2SO_4 -ს

1000 სმ³ ————— X გ უწყლო H_2SO_4 -ს

$$X = \frac{4,9 \cdot 1000}{100} = 49 \text{ გ}$$

გავიანგარიშოთ გოგირდმჟავას ხსნარის მოლური კონცენტრაცია:

1მოლ H_2SO_4 შეადგენს 98,08 H_2SO_4

X მოლ H_2SO_4 ————— 49გ H_2SO_4

$$X = \frac{1 \cdot 49}{98,08} \text{ მოლი/ლ} = 0,4995 \text{ მოლი/ლ}$$

პასუხი: $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4995$

ვიცით რა მასა 1000 სმ³(1ლ) ხსნარში არსებული ნივთიერებისა, შესაძლებელი იყო მოლური კონცენტრაციის განსაზღვრა ფორმულით:

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}; \quad C(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{49}{98,08} \text{ მოლ/ლ} = 0,4995 \text{ მოლი/ლ}$$

თუ გახსნილი ნივთიერების შემცველობას გადავიყვანოთ მასურ წილში (%), ნივთიერების რაოდენობა აუცილებლად უნდა იყოს გათვალისწინებული ამ ხსნარის სიმკვრივე $m = \rho V$ ან $V = \frac{m}{\rho}$

მაგალითი 3.

გამოიანგარიშეთ გოგირდმჟავას 15% -იანი ხსნარის მოლური კონცენტრაცია ($\rho = 1,10$ გ/სმ³).

მოცემულია:

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 15\%$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,08 \text{ გ/მოლი}$$

$$\rho(\text{ხსნარისა}) = 1,10 \text{ გ/სმ}^3$$

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

ამოხსნა

ვსაზღვრავთ, რა მოცულობას იკავებს 100 გ, 15%-იანი ხსნარი

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{100}{1,10} \text{ სმ}^3 = 90,91 \text{ სმ}^3$$

შესაბამისად 15 გ H_2SO_4 უწყლო შედის, როგორც 100 გ ხსნარში, ასევე 90,91 სმ³. გამოვიანგარიშოთ უწყლო H_2SO_4 -ის მასა, რომელიც შეიცავს 1000 სმ³ ხსნარი.

$$90,91 \text{ სმ}^3 \text{ ხსნარი შეიცავს } 15 \text{ გ უწყლო } \text{H}_2\text{SO}_4\text{-ს}$$

$$1000 \text{ სმ}^3 \text{ ————— } X$$

$$X = \text{გ} = 164,9984 \text{ გ.}$$

ვსაზღვრავთ H_2SO_4 -ის ხსნარის მოლურ კონცენტრაციას

1 მოლი H_2SO_4 -ის ხს. შეადგენს 98,08 გ. უწყლო H_2SO_4

$$X \text{ ————— } 164,9984 \text{ გ უწყლო } \text{H}_2\text{SO}_4$$

$$X = \frac{164,9984 \cdot 1}{98,08} \text{ მოლი} = 1,6828 \text{ მოლ/ლ.}$$

მოლური კონცენტრაციის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით:

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = m/M(\text{H}_2\text{SO}_4).$$

$$\text{პასუხი: } C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,6828 \text{ მოლი/ლ.}$$

ხსნარის მოლალობა - ეს არის ნივთიერების რაოდენობის ფარდობა გამხსნელის მასასთან. მოლალობას გამოსახვენ x -თი.

$$b(X) = \frac{v(X)}{m}$$

მოლალობის ერთეულია მოლი კილოგრამ გამხსნელზე (მოლი/კგ) შესაბამისად მოლალობა გვიჩვენებს გახსნილი ნივთიერების რაოდენობას (მოლი) 1000 გ გამხსნელში. მოლალობის ჩაწერა შემდეგი სახით ხდება:

მაგალითად $b(\text{HCl})/\text{H}_2\text{O} = 2 \text{ მოლი/კგ}$; $b(\text{NaOH})/\text{H}_2\text{O} = 0,01 \text{ მოლი/კგ}$ და ა.შ.

მაგალით №1

გამოიანგარიშეთ ნატრიუმის ჰიდროქსიდის მოლალობა, თუ 50 გ წყალში გახსნილია 2 გ NaOH.

მოცემულია ;

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 50 \text{ გ}$$

$$m(\text{NaOH}) = 2 \text{ გ}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ გ/მოლი}$$

$$b(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}) = ?$$

ამოხსნა:

ვსაზღვრავთ 2 გ NaOH -ის რაოდენობას ფორმულით $v = m/M$ ან პროპორციის მეშვეობით

1 მოლი NaOH შეადგენს 40 გ NaOH-ს

X მოლი NaOH ————— 2 გ NaOH-ს

$$X = \frac{1 \cdot 2}{40} = 0,05 \text{ მოლი}$$

გამოვითვლით ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარის მოლალობას:

50 გ H_2O გახსნილია 0,05 მოლ NaOH

1000 გ. H_2O ————— X მოლ NaOH

$$X = \frac{0,05 \cdot 1000}{50} \text{ მოლი/კგ} = 1 \text{ მოლ/კგ.}$$

პასუხი: $b(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ მოლ/კგ.}$

მაგალითი 2. განსაზღვრეთ ორთოფოსფორმეჟას H_3PO_4 -ის მასა, რომელიც უნდა გავხსნათ 250 გ წყალში, რომ მოვაშადაოთ $b(\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}_2\text{O})$ ხსნარი, რომელიც ტოლია მოლ/კგ-ის.

მოცემულია:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ გ.}$$

$$b(\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \text{ მოლი/კგ}$$

$$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ გ/მოლი}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = ?$$

ამოხსნა:

ვიანგარიშით H_3PO_4 -ის რაოდენობა, რომელსაც შეიცავს 250 გ წყალი:

1000 გ. H_2O აუცილებელია გავხსნათ 0,5 მოლ H_3PO_4

250 გ. H_2O ————— X მოლ H_3PO_4

$$X = \frac{0,5 \cdot 250}{1000} = 0,125 \text{ მოლი}$$

განვსაზღვროთ 0,125 მოლი H_3PO_4 -ის მასა, რომელსაც შეიცავს ხსნარი.

1 მოლი H_3PO_4 შეადგენს 98 გ H_3PO_4 -ს
0,125 მოლი H_3PO_4 ————— X გ H_3PO_4 -ს

$$X = \frac{0,125 \cdot 98}{1} = 12,25 \text{ გ.}$$

პასუხი: $m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 12,25 \text{ გ.}$

ნორმალური კონცენტრაცია განისაზღვრება გახსნილი ნივთიერების მოლ-ეკვივალენტების რიცხვით ხსნარის ერთ ლიტრში. ნივთიერების ეკვივალენტი ეწოდება ისეთ რაოდენობას, რომელიც ქიმიური რეაქციის დროს უერთდება ან ჩაენაცვლება წყალბადის 1 მოლს.

მჟავას ეკვივალენტური მასა უდრის მის მოლურ მასას გაყოფილს მჟავას ფუძიანობაზე. ფუძის ეკვივალენტური მასა უდრის მისი მოლური მასა გაყოფილი ლითონის დაჟანგულობის ხარისხზე (ვალენტობაზე). მარილის ეკვივალენტური მასა უდრის მარილის მოლურ მასას გაყოფილს ლითონის დაჟანგულობის ხარისხსა და მარილის მოლეკულაში მისი ატომების რიცხვის ნამრავლზე. ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში მონაწილე ნივთიერებების ეკვივალენტური მასა უდრის ნივთიერებების მოლური მასა გაყოფილი მოცემული ნივთიერების მიერ გაცემული ან შეძენილი ელექტრონების რიცხვზე.

ხსნარის ტიტრი არის ხსნარის 1 მლ-ში გახსნილი ნივთიერების მასა, გამოსახული გრამებში.

ლაბორატორიულ პრაქტიკაში ხშირად საჭირო ხდება ხსნარების კონცენტრაციის ერთი ერთეულიდან სხვა ერთეულში გადაყვანა. პროცენტული კონცენტრაციიდან სხვა ერთეულში გადაყვანა. პროცენტული კონცენტრაციიდან მოლურზე და პირიქით. საჭიროა გვახსოვდეს, რომ პროცენტული კონცენტრაცია ხსნარის გარკვეულ მასაზე იანგარიშება, ხოლო მოლური – მოცულობაზე. ამიტომ გაანგარიშებისათვის საჭიროა ხსნარის სიმკვრივის ცოდნა. პროცენტული კონცენტრაციის მოლურში ან ნორმალურში გადასაანგარიშებელ ფორმულებს შემდეგი სახე აქვს:

$$C_m = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M_x}; \quad N = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{\vartheta_x}.$$

სადაც ω – გახსნილი ნივთიერების მასური წილია პროცენტებში (პროცენტული კონცენტრაცია).

C_m – მოლური კონცენტრაცია, მოლი/ლ;

N – ნორმალური კონცენტრაცია, მოლ-ეკვ/ლ;

ρ – ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³

ϑ_x – ეკვივალენტური მასა, გ/მოლი;

M_x – მოლური მასა, გ/მოლი.

მოლური კონცენტრაციიდან ნორმალობაზე და პირიქით, გადასასვლელად სარგებლობენ ფორმულებით:

$$C_m = \frac{N \cdot \vartheta_x}{M_x}; \quad N = \frac{C_m \cdot M_x}{\vartheta_x}.$$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება ხსნარი?
2. რა არის ნაჯერი ხსნარი?
3. როგორ იანგარიშება მასური წილი?
4. რას ეწოდება მოლური კონცენტრაცია?
5. რას ეწოდება ნორმალური კონცენტრაცია?
6. რომელი ფორმულებით შეიძლება პროცენტული კონცენტრაციის

მოლურში და ნორმალურში გადაყვანა?

7. როგორ უნდა მომზადდეს NNaCl -ის 5% ხსნარის 300 გ?
8. რას უდრის Na_2CO_3 -ის 0,5N ხსნარის მოლური კონცენტრაცია?
9. რას უდრის AgNO_3 -ის მასა, რომელიც საჭირო იქნება 500 გ 0,5 მოლური ხსნარის მოსამზადებლად?

1.2. ქიმიური წონასწორობა.

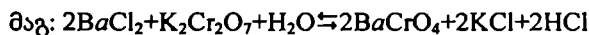
ქიმიური რეაქციები სხვადასხვა სიჩქარით მიმდინარეობს. ხსნარებში ქიმიური რეაქციის სიჩქარე ხასიათდება დროის ერთეულში ნივთიერებათა კონცენტრაციების ცვლილებით. კონცენტრაციები გამოისახება მოლებით ლიტრში, ხოლო დრო წამებში, წუთებში ან საათებში. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია მორეაგირე ნივთიერებათა ბუნებაზე, მათ კონცენტრაციაზე და ტემპერატურაზე. ნივთიერებათა ქიმიური ურთიერთქმედებისათვის უნდა მოხდეს მათი მოლეკულების ან იონების შეჯახება. რეაქციის სიჩქარე შეჯახებათა რიცხვის პროპორციულია, რომელიც მით უფრო მეტია, რაც უფრო მაღალია მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაცია. მოქმედ მასათა კანონის თანახმად, რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებების მოლური კონცენტრაციების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია.

$A+B=AB$ რეაქციის შემთხვევაში სიჩქარე $V=K[A][B]$, სადაც V – რეაქციის სიჩქარეა, K – პროპორციულობის კოეფიციენტი (სიჩქარის კონსტანტა). $[A]$ და $[B]$ A და B ნივთიერებების მოლური კონცენტრაციები. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე, გარდა ნივთიერებათა ბუნებისა, კონცენტრაციისა და ტემპერატურისა, გავლენას ახდენს კატალიზატორი.

ქიმიური რეაქციები იყოფა შექცევად და შეუქცევად რეაქციად. ქიმიური რეაქციებიდან უმეტესი ნაწილი შექცევადია. შექცევადი

რეაქციები ბოლომდე არასოდეს არ მიდის და მორეაგირე ნივთიერებებიდან სრულად არც ერთი არ იხარჯება. რეაქციები, რომლებიც ბოლომდე მიდის, შეუქცევადი ეწოდება. შექცევად რეაქციებში, რეაქციას შეუძლია წავიდეს როგორც პირდაპირ, ისე შებრუნებით. ვინაიდან პირდაპირი ქიმიური რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებათა დახარჯვასთან ერთად მცირდება, ხოლო შექცევადი რეაქციის სიჩქარე, რეაქციის პროდუქტების დაგროვებასთან ერთად იზრდება, დგება მომენტი, როცა ორივე რეაქციის სიჩქარე ხდება ტოლი. სისტემაში მყარდება ქიმიური წონასწორობა, რომელიც ხასიათდება შემდეგით: რეაქციის პროდუქტთა კონცენტრაციის ფარდობა მორეაგირე (საწყის) ნივთიერების კონცენტრაციასთან მუდმივი სიდიდეა.

ეს ფორმულირება სამართლიანია, როგორც ხსნარებისათვის ასე აიროვანი გარემოსათვის.



ასეთი გზით BaCrO_4 -ის (ბარიუმის ქრომატის) დალექვა არ მოხდება, რადგან იგი ადვილად იხსნება მინერალურ მჟავაში. რეაქცია შექცევადია. ხნარში ერთდროულად არსებობს, როგორც საწყისი, ისე რეაქციის შედეგად მიღებული ყველა ნივთიერება.

1865 წელს ბეკეტოვმა და ორი წლის მოგვიანებით გულდბერგმა და ვააგემ ექსპერიმენტალურად დაამტკიცეს, რომ რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებათა აქტიური კონცენტრაციების პროპორციულია – დაადგინეს მოქმედ მასათა კანონი. დავუშვათ მიდის შექცევადი რეაქცია, რომლის ზოგადი სახე არის:

$$m\text{A} + n\text{B} \rightleftharpoons p\text{C} + q\text{D}$$

მარცხნიდან მარჯვნივ მიმდინარე რეაქციას პირდაპირი ეწოდება, ხოლო მარჯვნიდან მარცხნივ მიმდინარეს – შებრუნებული. მოქმედ მასათა კანონის საფუძველზე პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეები ასე გამოისახება:

$V_1 = K_1[\text{A}]^m[\text{B}]^n$ და $V_2 = K_2[\text{C}]^p[\text{D}]^q$, სადაც K_1 და K_2 პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეების კონსტანტებია.

საწყის მომენტში $V_1 > V_2$. A და B ნივთიერებების კონცენტრაციე-

ბის შემცირებასთან ერთად მცირდება V_1 , ხოლო C და D ნივთიერებების კონცენტრაციების გაზრდასთან ერთად იზრდება V_2 . ბოლოს დგება მომენტი, როდესაც პირდაპირი რეაქციის სიჩქარე უტოლდება შებრუნებული რეაქციის სიჩქარეს. ამ დროიდან ხსნარში არსებული ოთხივე ნივთიერებების კონცენტრაცია აღარ იცვლება, მყარდება ქიმიური წონასწორობა.

მორეაგირე ნივთიერებათა სისტემის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეები ერთმანეთის ტოლია, ქიმიური წონასწორობა ეწოდება. ეს არის დინამიკური წონასწორობა, რაც იმას ნიშნავს, რომ წონასწორობის პირობებში A და B ნივთიერებები აგრძელებს ერთმანეთთან რეაგირებას C და D ნივთიერებების წარმოქმნით., მაგრამ ამავე დროს C და D ნივთიერებებიც რეაგირებენ ერთმანეთთან და წარმოქმნიან საწყის A და B ნივთიერებებს. დროის ყოველ მოცემულ მომენტში იშლება იმდენი A და B ნივთიერება, რამდენი კვლავ წარმოიქმნება შებრუნებული რეაქციის გამო. დამყარდება ქიმიური წონასწორობა ე.ი. $V_1=V_2$. აქედან $K_1[A]^m \cdot [B]^n = K_2[C]^p \cdot [D]^q$. ეს ტოლობა ასე ჩაიწერება:

$K = \frac{K_1}{K_2} = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^m [B]^n}$, ვინაიდან K_1 და K_2 უცვლელი ტემპერატურის

დროს მუდმივი სიდიდეებია, მათი ფარდობაც მუდმივია $\frac{K_1}{K_2} = K$.

K – წონასწორობის მუდმივაა (კონსტანტა) და რიცხობრივად უდრის პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეთა მუდმივების ფარდობას. ან წონასწორობის მუდმივა მოცემული რეაქციისათვის მოცემულ ტემპერატურაზე უდრის რეაქციის პროდუქტების წონასწორული კონცენტრაციების ნამრავლის ფარდობას, გამოსავალი ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციების ნამრავლით ან მოცემული რეაქციისათვის K მხოლოდ ტემპერატურაზეა დამოკიდებული.

უცვლელ პირობებში ქიმიური წონასწორობა ხანგრძლივად შენარჩუნდება.

პირობების შეცვლით შეიძლება წონასწორული მდგომარეობის ერთი ფორმის მეორე ფორმაში გადაყვანა. წონასწორული მდგომარეობის ერთი ფორმიდან მეორე ფორმაში გადასვლას წონასწორობის გადახრა ეწოდება. შექცევადი რეაქციის წონასწორობის გადახრა შეიძლება, როგორც რეაქციაში მონაწილე ერთ-ერთი ნივთიერების კონცენტრაციის, ასევე წნევისა და ტემპერატურის შეცვლით.

სისტემის წონასწორობაზე პირობების შეცვლის გავლენის ფორმულირებას იძლევა ლე-შატელიეს წონასწორობის გადანაცვლების ანუ დინამიკური წონასწორობის პრინციპი, რომელიც ასე გამოითქმის: «თუ რაიმე ფაქტორი არღვევს წონასწორობას, სისტემაში აღიბრუნება ისეთი პროცესი, რომელიც წონასწორობის ამ დამრღვევი ფაქტორის მოქმედების შემცირების მიმართულებით წარიმართება».

შექცევად რეაქციაში მონაწილე რომელიმე ნივთიერების კონცენტრაციის გადიდების შემთხვევაში წონასწორობა გადაიხრება ამ ნივთიერების კონცენტრაციის შემცირების მიმართულებით.

ტემპერატურის აწევა ორივე საპირისპირო პროცესს აჩქარებს, მაგრამ, თუ რეაქცია ეგზოთერმულია, ე.ი. სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობს, ტემპერატურის გაზრდა შეანელებს პირდაპირი რეაქციის სიჩქარეს.

წნევის ცვლილება გავლენას ახდენს მხოლოდ ისეთი რეაქციების წონასწორულ მდგომარეობაზე, რომელთა მიმდინარეობისას იცვლება გაზის მოლეკულების რიცხვი. მაგ: რეაქციაში $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$.

განტოლების მარცხენა მხარეს ოთხი მოლეკულა, ხოლო მარჯვენა მხარეს ორი. წნევის გადიდების შემთხვევაში წონასწორობა გადაიხრება მოლეკულების რიცხვის შემცირებისაკენ, ე.ი. მარჯვნივ, ხოლო წნევის შემცირებისას – მარცხნივ.

ამრიგად, წონასწორობის გადახრის პრინციპი საშუალებას იძლევა შექცევადი პროცესები შეგნებულად ვმართოთ.

1. რას ეწოდება ქიმიური რეაქციის სიჩქარე?
2. როგორ ფორმულირდება მოქმედ მასათა კანონი?
3. რა არის ქიმიური წონასწორობა?
4. რას წარმოადგენს ქიმიური წონასწორობის კონსტანტა?
5. რაში მდგომარეობს ლე-შატელიეს დინამიკური წონასწორობის პრინციპი?

1.3. ელექტროლიტური დისოციაცია.

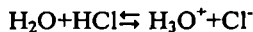
ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში უფრო ხშირად იყენებენ რეაქციებს სველი გზით, რომელშიაც მონაწილეობას ღებულობენ იონები.

ანალიტიკოსის მიერ ხმრებული ყველა რეაქტივი წარმოადგენს დისოციაციის სხვადასხვა უნარის მქონე ელექტროლიტს (მჟავას, ტუტეს ან მარილს), ამიტომ რეაქტივების ხმარების დროს საჭიროა იმის ცოდნა, თუ რომელი მათგანი მეტ-ნაკლებად განიცდის დისოციაციას.

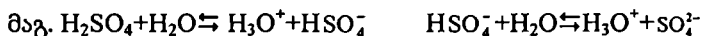
ეს საკითხი გაარკვია შვედმა მეცნიერმა სვანტე არენიუსმა თავის ელექტრონული დისოციაციის თეორიაში, რომლის მიხედვით ახსნილი იქნა ელექტროლიტთა განსაკუთრებული თვისებები – ელგამტარობა, გადიდებული ოსმოსური წნევა, დუდილის და გაყინვის ანომალური ტემპერატურები.

ამ თეორიის თანახმად ელექტროლიტები წყალში გახსნისას იშლებიან, დისოცირდებიან დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ იონებად: კათიონებად და ანიონებად. ეს დისოციაცია მიმდინარეობს სხვადასხვა ხარისხით და დამოკიდებულია ელექტროლიტების ბუნებაზე, გამხსნელის ქიმიურ ბუნებასა და ხსნარის კონცენტრაციაზე.

წყალხსნარებში ელექტროლიტურ დისოციაციას განიცდის ის ნივთიერებები, რომლებსაც იონური ან კოვალენტური ბმა აქვს. იონური ბმის მქონე ნივთიერებების წყალში გახსნისას ხდება ამ ბმის შესუსტება. რაც გამოწვეულია წყლის პოლარული მოლეკულების ორიენტირებით ყოველი იონის გარშემო საპირისპიროდ დამუხტული პოლუსებით. იონებსა და წყლის დიპოლებს შორის წარმოიქმნება ურთიერთმიზიდულობის ძალები, რის შედეგადაც ხდება მოლეკულების დისოციაცია, ხსნარში წარმოიქმნება წყლის პოლარულ მოლეკულებთან დაკავშირებული ჰიდრატირებული იონები. აქედან გამომდინარე, მჟავები ისეთი ელექტროლიტებია, რომლებიც ხსნარში წარმოქმნის ჰიდროქსონიუმის იონებს და მჟავური ნაშთის ანიონებს:

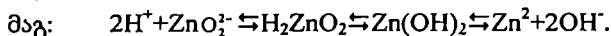


მრავალფუძიანი მჟავე განიცდის საფეხურებრივ დისოციაციას.



მჟავების საერთო დამახასიათებელი თვისებები განპირობებულია ნებისმიერი მჟავას ხსნარში წყალბადის ჰიდრატირებული იონების H_3O^+ არსებობით. ფუძეები ეწოდება ელექტროლიტებს, რომლებიც წყალხსნარში დისოცირდება ჰიდროქსიდ – იონის OH^- წარმოქმნით: $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

ჰიდროქსიდ–იონები OH^- განაპირობებს ფუძეების საერთო თვისებებს. არის ისეთი ჰიდროქსიდები, რომლებიც ამჟღავნებენ, როგორც მჟავების ისე ფუძეების თვისებებს, ერთდროულად განიცდის როგორც მჟავურ, ისე ფუძე დისოციაციას:



მარილები ისეთი ელექტროლიტებია, რომლებიც წყალხსნარებში დისოცირდება ლითონისა და მჟავური ნაშთის იონებად: $\text{CaCl}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^-$

დისოციაცია მიმდინარეობს სხვადასხვა ხარისხით და დამოკიდებულია ელექტროლიტების ბუნებაზე, გამხსნელის ქიმიურ ბუნებასა და ხსნარის კონცენტრაციაზე.

რიცხვს, რომელიც გვიჩვენებს თუ გახსნილი ელექტროლიტის საერთო მოცულობიდან რა ნაწილი იშლება იონებად, ეწოდება ელექტროლიტური დისოციაციის ხარისხი, აღინიშნება α – თი, წარმოადგენს იონებად დაშლილი მოლეკულების რიცხვის (n) შეფარდებას გახსნილი მოლეკულების საერთო რიცხთან (n_0). ე.ი. $\alpha = \frac{n}{n_0}$. α –ს გა-

მოსახავენ წილადებში ან პროცენტებში.

ელექტროლიტური დისოციაციის ხარისხის მიხედვით არჩევენ ძლიერ, საშუალო და სუსტ ელექტროლიტებს.

ძლიერი ეწოდება ელექტროლიტებს, რომელთა 0,1N ხსნარში $\alpha > 30\%$. მათ მიეკუთვნება თითქმის ყველა მარილი. მრავალი მინერალური მჟავა, მაგალითად: H_2SO_4 ; HCl ; HNO_3 ; $HClO_4$, ტუტე ლითონთა ფუძეები $NaOH$, KOH , აგრეთვე $Ba(OH)_2$ და $Ca(OH)_2$; წყალხსნარებში პრაქტიკულად ძლიერი ელექტროლიტის თითქმის ყველა მოლეკულაა დისოცირებული, ამიტომ ასეთი ხსნარებისათვის მოლეკულებზე ლაპარაკი პირობითია, სინამდვილეში მოლეკულები მხოლოდ იონური წყვილებია, მაგალითად: Na^+Cl^- და არა მოლეკულა $NaCl$.

სუსტი ელექტროლიტები წყალხსნარებში მხოლოდ ნაწილობრივადაა დისოცირებული, რომელთა 0,1N ხსნარში $\alpha < 3\%$. თუ მაგალითად მმარმჟავას 0,01 მოლური ხსნარისათვის $\alpha = 0,0419$ ე.ი. აღნიშნული კონცენტრაციის დროს CH_3COOH -ის მთელი რაოდენობიდან იონებად დისოცირებულია მხოლოდ 0,0419 (ან 4,19%) იმ დროს, როცა 0,9581 (ე.ი. 95,81%) იმყოფება ხსნარში არადისოცირებული მოლეკულების სახით. მმარმჟავა სუსტი ელექტროლიტია. სუსტ ელექტროლიტებს მიეკუთვნება თითქმის ყველა ორგანული მჟავა. ზოგიერთი მინერალური მჟავა, როგორც არის H_2SO_3 ; H_2S ; H_2CO_3 ; ზოგიერთი მარილი $HgCl_2$; $Hg(CN)_2$.

საშუალო სიძლიერის ელექტროლიტის დისოციაციის ხარისხი $3\% < \alpha < 30\%$. ესენია შემდეგი მჟავები: H_3PO_4 ; H_2SO_3 , HF და სხვა.

ვინაიდან სუსტი ელექტროლიტები წყალხსნარებში ნაწილობრივ

არიან დისოცირებული, ხსნარში მოლეკულებსა და იონებს შორის მყარდება წონასწორობა, ამიტომ შესაძლებელია გამოვიყენოთ წონასწორობის კანონები. ნებისმიერი სუსტი ელექტროლიტისათვის შეიძლება დაიწეროს:



ამ შემთხვევაში დისოციაციის კონსტანტა $K_{ფის.}$ შემდეგნაირად გამოისახება:

$$K_{ფის.} = \frac{[K^+]^n \cdot [A^-]^m}{[K_n A_m]}$$

$K_{ფის.}$ ახასიათებს მოცემული ელექტროლიტის იონებად დაშლის უნარს.

განზავების კანონი ერთმანეთთან აკავშირებს ელექტროლიტის დისოციაციის კონსტანტას, დისოციაციის ხარისხს და ხსნარის კონცენტრაციას:

$$K = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$

სადაც K – დისოციაციის კონსტანტა; C – ელექტროლიტის მოლური კონცენტრაცია – მოლი/ლ; α – დისოციაციის ხარისხი.

განზავების კანონი საშუალებას იძლევა გაანგარიშებულ იქნას დისოციაციის ხარისხი სხვადასხვა კონცენტრაციის დროს, თუ ცნობილია ელექტროლიტის დისოციაციის კონსტანტა. ძლიერი ელექტროლიტები ამ კანონს არ ექვემდებარება.

დისოციაციის ხარისხი α , რომელიც გამოსახავს ხსნარში დაშლილი მოლეკულების შეფარდებას საწყის კონცენტრაციასთან, ელექტროლიტის უსასრულო განზავებისას უახლოვდება 100%-ს.

დისოციაციის ხარისხი შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვა მეთოდით: ხსნარის ელექტროგამტარობით, მისი გაყინვის წერტილის დაწევით და სხვა.

ელექტროლიტური დისოციაციის თანახმად ხსნარში დენის გატარება ხორციელდება მასში მყოფი იონების გადანაცვლებით საწინააღმდეგოდ დამუხტული ელექტროდისაკენ. რაც უფრო დიდია

ხსნარში იონების კონცენტრაცია და რაც უფრო სწრაფად მოძრაობენ ისინი, მით მეტი ელექტრობა გატარდება ხსნარში და მით მეტი იქნება ელექტროგამტარებლობა.

ცდებმა გვიჩვენა, რომ ხსნარის განზავებით ე.წ. ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა λ თანდათანობით იზრდება λ_{∞} -მდე. ამ ზღვრულ მნიშვნელობას, რომელსაც ეწოდება «ეკვივალენტური ელგამტარობა უსასრულო განზავებაზე», აღწევს ძლიერ დისოცირებული ელექტროლიტები 0,0001 მოლური კონცენტრაციის დროს და არ იცვლება შემდგომი განზავებით. λ – სიდიდის ასეთი ზრდა დამოკიდებულია ან დისოციაციის ხარისხის გაზრდაზე ხსნარის განზავების დროს (რის შედეგად ირღვევა წონასწორობა ელექტროლიტის არადისოცირებულ მოლეკულებსა და მის იონებს შორის) ან იონების მოძრაობის სიჩქარის გაზრდაზე.

არენიუსის ელექტროლიტური დისოციაციის კლასიკური თეორიის მიხედვით იონთა მოძრაობის სიჩქარე არ იცვლება ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით. ელექტროლიტების ხსნართა ელგამტარობა უშუალოდ დაკავშირებულია იონთა კონცენტრაციისაგან. ამიტომ შესაძლებელია დისოციაციის ხარისხის განსაზღვრა თანაფარდობით $\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_{\infty}}$; აქედან ჩანს, რომ დისოციაციის ხარისხი წარმოად-

გენს მოცემული განზავებისა (λ) და უსასრულო განზავების (λ_{∞}) დროს ეკვივალენტურ ელგამტარობათა შეფარდებას.

ძლიერი ელექტროლიტები, როგორც უკვე ზემოთ ავღნიშნეთ ამ კანონს არ ექვემდებარება. დებაისა და პიუკელის ძლიერი ელექტროლიტების თეორიის თანახმად, ეს ელექტროლიტები, მათი ხსნარების კონცენტრაციების მიუხედავად, პრაქტიკულად მთლიანად დისოცირდება იონებად. ძლიერი ელექტროლიტის დისოციაციის ხარისხი ნებისმიერი კონცენტრაციის დროს ერთის ტოლია. იმისათვის, რომ გავითვალისწინოთ იონების ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების გავლენა ძლიერი ელექტროლიტების ხსნარების ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებზე, იონების ჰემმარიტი კონცენტრაცი-

ის C—ს ნაცვლად ვიყენებთ იონთა აქტივობის ცნებას a -ს.

იონთა აქტიურობა ანუ აქტიური კონცენტრაცია არის ის ეფექტური კონცენტრაცია, რომლის შესაბამისად მოქმედებს იონი ქიმიური რეაქციის დროს. ეს არის იონების ნამდვილი მოქმედი კონცენტრაცია. აქტიური კონცენტრაცია ისეთი სიდიდეა, რომელიც ვლინდება სხვადასხვა პროცესის დროს მოქმედი, ეფექტური კონცენტრაციის სახით, და რომელიც ჩვეულებრივ კონცენტრაციასთან დაკავშირებულია შემდეგი გამოსახულებით: $a=Cf$, სადაც a არის იონთა აქტიურობა, C —წონასწორული კონცენტრაცია, ხოლო f —აქტიურობის კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს, თუ როგორ მოქმედებს იონთა შორის არსებული ძალები იონის ქიმიური მოქმედების უნარზე.

ჩვეულებრივ, აქტიურობის კოეფიციენტი ერთზე ნაკლებია.

1.4. წყლის დისოციაცია

ბუნებრივი წყალი, მასში ხსნადი მარილების არსებობის გამო ხასიათდება დიდი ელგამტარობით. წყლის გასუფთავებისას მრავალჯერადი გამოხდით, ელგამტარობა თანდათან მცირდება ვიდრე არ მიაღწევს გარკვეულ მუდმივ სიდიდეს, რომელიც დამახასიათებელი იქნება სუფთა წყლისათვის. გასუფთავებული წყლის ელექტროგამტარობის ამ მცირე სიდიდის კიდე უფრო შემცირება წყლის შემდგომი გასუფთავებით არ ხერხდება. ცდების საშუალებით დადგინდა, რომ როგორც სუფთა წყალი, ასევე წყალხსნარები, გახსნილი ნივთიერებების ბუნებისაგან დამოუკიდებლად, დისოცირდებიან იონებად $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$, უფრო სწორად $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$. ვინაიდან ამ დროს მიიღება წყალბადისა და ჰიდროქსიდის იონები, წყალს ერთდროულად ექნება სუსტი მჟავასა და სუსტი ფუძის თვისებები. ამრიგად, წყალი ამფოტერული ხასიათის სუსტ ელექტროლიტს წარმოადგენს. წყლის დისოციაციის ხარისხი α მნიშვნელოვნად მცირეა და $22^\circ C$ -ზე იგი უდრის $1,4 \cdot 10^{-9}$, იონების H^+ და OH^- კონცენტრაცია კი

უდრის $1 \cdot 10^{-7}$. მიუხედავად ასეთი მცირე რაოდენობით H^+ და OH^- იონების არსებობის წყალხსნარებში ისინი მუდავნდებიან და გავლენას ახდენენ რეაქციის მსვლელობაზე.

მოქმედ მასათა კანონის გამოყენებით წყლის წონასწორობის კონსტანტა

$$K_a = \frac{a_{H^+} \cdot a_{OH^-}}{a_{H_2O}} = \frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]} \cdot f^2 \quad (1) \quad 22^\circ C - \text{ზე } K_a = 1,8 \cdot 10^{-16} \quad (2)$$

რადგან ეს მუდმივა ძალზე მცირე სიდიდეა, წყლის არადისოცირებული მოლეკულების აქტიური კონცენტრაცია შეიძლება გავუტოლოთ წყლის საწყის კონცენტრაციას და განვიხილოთ, როგორც მუდმივი სიდიდე, ე.ი. $a_{H_2O} = K_1$, მაშინ (1) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$K_a = \frac{a_{H^+} \cdot a_{OH^-}}{K_1}; K_a \cdot K_1 = a_{H^+} \cdot a_{OH^-} = K_w \text{ ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ } H^+$$

და OH^- იონების ხსნადობის ნამრავლი ყოველ მოცემულ ტემპერატურაზე მუდმივი სიდიდეა. მას წყლის იონური ნამრავლი ეწოდება და $22^\circ C -$ ზე ტოლია $1 \cdot 10^{-14}$. სუფთა წყალში სხვა იონების არ არსებობისას იონური ძალა პრაქტიკულად ნულის ტოლია. შესაბამისად H^+ და OH^- იონების აქტივობის კოეფიციენტები ტოლია ერთის და იონთა აქტივობა ტოლია მათი მოლური კონცენტრაციების ე.ი. $a_{H^+} = [H^+]$ $a_{OH^-} = [OH^-]$ და შესაბამისად $a_{H_2O} = K_1 = [H_2O]$, ამიტომ წყლის კონცენტრაციის მუდმივა $K_c = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$ ემთხვევა პრაქტიკულად ჭეშმა-

რიტ მუდმივას $K_1 = \frac{a_{H^+} \cdot a_{OH^-}}{a_{H_2O}}$ შესაბამისად წყლის იონური ნამრავ-

ლი $[H^+][OH^-] = K_w$ ემთხვევა აქტივობის ნამრავლს ე.ი. $a_{H^+} \cdot a_{OH^-} = [H^+][OH^-] f^2 = K_w$.

წყლის იონური ნამრავლის რიცხობრივ მნიშვნელობას პოულობენ შემდეგნაირად: 1 ლიტრი წყალი 1000 გ, წყლის მოლური მასა 18 გ-ია, მაშინ 1 ლიტრი წყალი შეიცავს $\frac{1000}{18} = 55,56$ მოლს. სხვანაირად, რომ ვთქვათ წყლის მოლური კონცენტრაცია $[H_2O] = 55,56$ (1) და (2)

განტოლებებიდან, თუ $f=1$ შეიძლება დავწეროთ $[H^+][OH^-]=[H_2O] \cdot 1,8 \cdot 10^{-16}$ აქედან $[H^+][OH^-]=55,56 \cdot 1,8 \cdot 10^{-16}=1 \cdot 10^{-14}$ (1)
 განტოლებიდან ჩანს აგრეთვე, რომ $[H^+]=[OH^-]=[H^+]^2$, მაშინ $[H^+]^2=1 \cdot 10^{-14}$ და $[H^+]=\sqrt{1 \cdot 10^{-14}}=1 \cdot 10^{-7}$. ამრიგად სუფთა წყალში $[H^+]=[OH^-]=1 \cdot 10^{-7}$, რამდენადაც წყლის იონური ნამრავლი $[H^+][OH^-]=const$, H^+ -იონების კონცენტრაცია წყალხსნარებში უკუპროპორციულია OH^- იონების კონცენტრაციისა. ამ იონებიდან ერთ-ერთის კონცენტრაციის გაზრდით მეორე იონის კონცენტრაცია შესაბამისად მცირდება და შეიძლება გახდეს უსასრულოდ მცირე, მაგრამ არცერთ შემთხვევაში არ შეიძლება იყოს ნულის ტოლი. ეს იმას ნიშნავს, რომ მჟავა ხსნარში ჭარბ H^+ იონებთან ერთად ყოველთვის არის OH^- იონები და პირიქით, ტუტე ხსნარში ჭარბ OH^- იონებთან ერთად ყოველთვის არის H^+ იონები.

მჟავა ხსნარში $[H^+] > 1 \cdot 10^{-7} > [OH^-]$.

ტუტე ხსნარში $[H^+] < 1 \cdot 10^{-7} < [OH^-]$.

ნეიტრალურ ხსნარში $[H^+]=[OH^-]=1 \cdot 10^{-7}$.

თუ ვიცით $[H^+]$ ადვილად ვიპოვით $[OH^-]$ – ს და პირიქით.

$$[H^+] = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{[OH^-]} \quad (3)$$

$$[OH^-] = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{[H^+]} \quad (4)$$

თუ უხეში გამოთვლებისათვის უგულველყოფთ იონურ ძალას (ძლიერი მჟავისა და ტუტის ხსნარებში) და მივიღებთ, რომ $a_{H^+}=[H^+]=C_{H^+}$, ხოლო $a_{OH^-}=[OH^-]=C_{OH^-}$, მაშინ ძლიერ მჟავას 1 ნ ხსნარში $[H^+]=1$; 0,15 ხსნარში $[OH^-]=0,1$ და ა.შ. (ხსნარში ჭარბ H^+ -იონებთან ერთად ყოველთვის არის OH^- იონები და პირიქით, ტუტე ხსნარში ჭარბ OH^- იონებთან ერთად ყოველთვის არის H^+ იონები). (3) განტოლებიდან გამომდინარე მჟავა ხსნარებში $[H^+]$ და $[OH^-]$ იონები შემდეგ მნიშვნელობებს იძენს:

მჟავა კონცენტრაცია ნ. 1; 0,1; 0,01; 0,001.

$[H^+]$ – იონების კონცენტრაცია $1 \cdot 10^0$; $1 \cdot 10^{-1}$; $1 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-3}$.

$[\text{OH}^-]$ – იონების კონცენტრაცია $1 \cdot 10^{-14}$, $1 \cdot 10^{-13}$, $1 \cdot 10^{-12}$, $1 \cdot 10^{-11}$.

(4) განტოლებიდან ტუტე ხსნარებში $[\text{H}^+]$ და $[\text{OH}^-]$ იონების მნიშვნელობები იქნებოდა:

ტუტის კონცენტრაცია ნ. 1; 0,1; 0,01; 0,001.

$[\text{H}^+]$ – იონების კონცენტრაცია $1 \cdot 10^{-14}$, $1 \cdot 10^{-13}$, $1 \cdot 10^{-12}$, $1 \cdot 10^{-11}$.

$[\text{OH}^-]$ – იონების კონცენტრაცია $1 \cdot 10^0$; $1 \cdot 10^{-1}$; $1 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-3}$.

ყველა შემთხვევაში, როგორც არ უნდა შეიცვალოს $[\text{H}^+]$ ან $[\text{OH}^-]$, ერთ–ერთის შეცვლა მეორის აუცილებელ ცვლილებას იწვევს ისე, რომ მათი ნამრავლი ყოველთვის დარჩება 10^{-14} -ის ტოლი.

რიცხვს, რომელიც გარემოს რეაქციას გამოსახავს, «წყალბადური რიცხვი» ანუ «წყალბადის მაჩვენებელი» ეწოდება. იგი აღინიშნება pH–ით და წარმოადგენს წყალბადის იონების კონცენტრაციის უკულოგარიტმს ანუ წარმოადგენს უარყოფით ათობით ლოგარიტმს.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}, [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

მჟავიანობის ან წყალბადის იონების აქტიურობის გადიდება pH–ის შემცირებას შეესაბამება, ხოლო მჟავიანობის შემცირება – pH–ის გადიდებას. pH–ის მიხედვით ხსნარის რეაქცია ასე ხასიათდება:

ნეიტრალური pH=7; მჟავა pH<7; ტუტე pH>7.

1.5. ბუფერული ხსნარები

წყალბადიონთა კონცენტრაცია დიდ გავლენას ახდენს წყალხსნარებში ქიმიურ წონასწორობაზე და აპირობებს ამა თუ იმ ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობას. კერძოდ, ეს ეხება ანალიზურ რეაქციებს, რომელშიც მიმდინარეობენ განსაზღვრულ, ცალკეული შემთხვევისათვის დამახასიათებელი pH–ის დროს.

მაგალითად:	Mn^{2+} ,	Al^{3+} ,	Fe^{3+}
ჰიდროქსიდების	$\text{Mn}(\text{OH})_2$,	$\text{Al}(\text{OH})_3$,	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ დალექვა
მიმდინარეობს მაშინ, როდესაც შესაბამისად			

pH მნიშვნელობებია: 9,0; 5,0; 3,0.

ასევე Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}

იონების სულფიდებად დალექვა გოგირდწყალბადით შედგება სხვადასხვა პირობებში.

MnS ;	ZnS ;	CuS დაილექება
pH 6,5;	1,5;	$\leq 0,5$ – ის დროს.

ამრიგად, Al-ის და Fe-ის მოცილება Mn-გან $Al(OH)_3$ და $Fe(OH)_3$ -ის დალექვის მეშვეობით შეიძლება განხორციელდეს თითქმის მთლიანად, თუ pH დაახლოებით 6–7 იქნება. ასევე Cu-ის მოცილება Zn და Mn-გან H_2S -ით წარმოებს, როცა $pH \leq 0,5$; როცა Cu მთლიანად გამოიყოფა CuS -ის სახით, ხოლო Zn^{2+} და Mn^{2+} იონები დარჩება ხსნარში.

მრავალი ფერადი რეაქცია, ორგანული რეაქტივებით, რომელთა საშუალებითაც ხდება ამა თუ იმ იონის აღმოჩენა, ეფექტურია მხოლოდ pH-ის განსაზღვრული მნიშვნელობებისათვის.

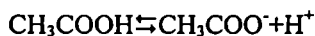
ამრიგად, ანალიზური რეაქციების ეფექტური მიმდინარეობისათვის საჭიროა სასურველი pH გარემოს შექმნა. იმისათვის, რომ ხსნარში წყალბადიონთა სასურველი კონცენტრაცია შევქმნათ და გარკვეულ ზღვრებში შევინარჩუნოთ ის უცვლელად, მიმართავენ ე.წ. ბუფერულ ხსნარებს. ე.ი. ხსნარებს, რომელთა pH პრაქტიკულად არ იცვლება ხსნარის განზავებით ან მჟავებისა და ტუტეების მცირე რაოდენობის დამატებით.

ბუფერული ხსნარები შედგება სუსტი მჟავასა ან სუსტი ტუტისაგან და შესაბამისი მარილისაგან, აგრეთვე სხვადასხვა ფუძიანობის მჟავა მარილებისაგან. ხსნარი, რომელიც შეიცავს სუსტ მჟავას ან სუსტ ტუტეს და ერთ-ერთ რომელიმე მის მარილს, იძენს რეგულატორის ანუ ბუფერის თვისებას. მათ რიცხვს ეკუთვნით CH_3COOH და CH_3COONa , ან NH_4OH და NH_4Cl , სხვადასხვა ფუძიანობის მარილების ნარევი NaH_2PO_4 და Na_2HPO_4 და სხვა.

ბუფერული მოქმედების არსი შემდეგია: ხსნარის მჟავიანობის გაზრდისას ბუფერულ ნარევეში შემავალი მარილის ანიონი H^+ იონთან ქმნის მცირედ დისოცირებულ მჟავას. ტუტეანობის გაზრდისას

მჟავის H^+ იონი, შემავალი ბუფერულ ხსნარში, OH^- იონებთან წარმოქმნის წყალს. მცირედ დისოცირებული ნაერთის წარმოქმნის გამო ხსნარის მჟავურობა ან ტუტეანობა ეცემა.

ანალიზურ ქიმიკაში ერთ-ერთ პოპულარულს წარმოადგენს აცეტატური ბუფერი, რომლის შემადგენლობაში შედის ძმარმჟავა და ნატრიუმის აცეტატი. აცეტატური ბუფერის წონასწორობა ხსნარში შეიძლება გამოვსახოთ სქემით



ძმარმჟავას დისოციაციის შემთხვევაში, მოქმედ მასათა კანონის შესაბამისად, წონასწორობის კონსტანტა გამოისახება:

$$K_A = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]}, \text{ საიდანაც } [H^+] = K_A \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

ძმარმჟავა ნატრიუმი, როგორც ძლიერი ელექტროლიტი. ხსნარში მთლიანადაა დისოცირებული იონებად. მისი დამატება ამცირებს ძმარმჟავას დისოციაციას, ამიტომ მათ ნარევი აცეტატ-იონების კონცენტრაცია, ძირითადად მხოლოდ მარილის დისოციაციით არის განპირობებული, ხოლო ძმარმჟავას დაუშლელი მოლეკულების კონცენტრაცია თითქმის მისი ანალიზური კონცენტრაციის ტოლია, ამიტომ ასეთ ხსნარში

$$[H^+] = K_A \frac{\text{მჟავას კონცენტრაცია}}{\text{მარილის კონცენტრაცია}}$$

მოცემული თანაფარდობა ბუფერული ნარევის გამოსახულებას წარმოადგენს:

$$pH = pK_A + \log \frac{[\text{მარილი}]}{[\text{მჟავა}]}$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ბუფერულ ხსნარში წყალბად-იონთა კონცენტრაცია განისაზღვრება მჟავას დისოციაციის კონსტანტითა და მარილისა და მჟავას თანაფარდობით.

საკონტროლო კითხვები

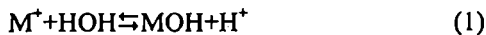
1. რას ეწოდება წყლის იონური ნამრავლი?
2. რა არის pH ?
3. რა ფუნქციას ასრულებენ ბუფერული ხსნარები?
4. როგორია ბუფერული ნარევის გამოსახულება?

1.6. მარილთა ჰიდროლიზი

მარილთა წყალხსნარებში ხშირად ადგილი აქვს მარილთა იონებსა და წყლის იონთა შორის ურთიერთქმედებას, რომელსაც მოჰყვება სუსტი მჟავის ან სუსტი ტუტის წარმოქმნა, ხანდახან კი მჟავა ან ფუძე მარილების წარმოქმნა. წყლის ამფოტერული თვისებები მთელ რიგ პროცესებში ვლინდება, რომელთა შორის არის მარილთა ჰიდროლიზიც.

მარილთა ჰიდროლიზი არის მარილის იონების წყლის მოლეკულებთან ურთიერთქმედება, რომლის შედეგადაც წარმოიქმნება სუსტი ელექტროლიტი. ამის გამო ცვლილებას განიცდის წყალბადისა და ჰიდროქსიდ-იონების არსებული კონცენტრაციები. შესაბამისად იცვლება pH, მიუხედავად იმისა, რომ წყალში საშუალო მარილია გახსნილი.

ბინარულ ელექტროლიტისათვის ჰიდროლიზის სტემატური სახე ასეთია:



(1) სქემის მიხედვით ურთიერთქმედებენ მარილები, წარმოქმნილი სუსტი ფუძისა და ძლიერი მჟავისაგან (მაგ. NH_4Cl), ამ დროს წარმოიქმნება სუსტი ფუძე MOH და თავისუფლდება H^+ იონის კვავალენტური რაოდენობა.

(2) სქემის მიხედვით ურთიერთქმედებენ მარილები, წარმოქმნი-

ლი ძლიერი ფუძისა და სუსტი მჟავისაგან (მაგ. KCN, CH₃COONa), ამ დროს წარმოიქმნება სუსტი მჟავა HA და შესაბამისად გაიზრდება OH⁻ იონების კონცენტრაცია.

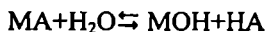
და ბოლოს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ისეთ შემთხვევასაც, როცა რეაქციაში მიიღებს მონაწილეობას მარილის ორივე იონი



(3) სქემის მიხედვით განიცდიან ჰიდროლიზს სუსტი ფუძის და სუსტი მჟავას მარილები. ამ დროს წარმოიქმნება სუსტი ფუძე MOH და სუსტი მჟავა HA, მაგრამ H⁺-იონების კონცენტრაციის შესამჩნევ ცვლილებას ვერ დავინახავთ. H₂O—როგორც ამფოტერული საკმაოდ სუსტი ელექტროლიტი დისოცირებს სქემით $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ ან $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$, მარილები, როგორც წესი წარმოადგენენ ძლიერ ელექტროლიტებს და დისოცირდებიან მთლიანად, ამიტომ წყალ-ხსნარებში მარილთა იონების კონცენტრაცია ბევრად აღემატება წყლის H⁺ და OH⁻ იონების კონცენტრაციას. ჰიდროლიზი შეიძლება მოხდეს, მაშინ როცა მარილთა იონებისა და წყლის იონებს შორის ურთიერთქმედების შედეგად მიიღება (ერთი მაინც) სუსტი ან ძნელად ხსნადი ელექტროლიტი. თუ ყველა შესაძლებელი შემთხვევიდან არ მიიღება არც სუსტი და არც ძნელად ხსნადი ელექტროლიტი, პრაქტიკულად მარილის ჰიდროლიზს არ ექნება ადგილი. მათ ეკუთვნით ძლიერი მჟავისა და ძლიერი ფუძის მარილები (მაგ. NaCl, NaClO₄ და სხვა).

ჰიდროლიზი შეიძლება განვიხილოთ წონასწორობის თვალსაზრისით, რომელიც წყალში მარილის გახსნისას წარმოიქმნება. ჰიდროლიზის პროცესი არსებითად ნეიტრალიზაციის შებრუნებული რეაქცია და დამახასიათებელია სუსტი მჟავების ან სუსტი ფუძეებისაგან წარმოქმნილი მარილებისათვის. ძლიერი ფუძისა და ძლიერი მჟავისაგან წარმოქმნილი მარილები ჰიდროლიზს არ განიცდის. ამრიგად, ჰიდროლიზი იმ შემთხვევაში მიმდინარეობს, როდესაც ელექტროლიტური დისოციაციის შედეგად მიღებული იონები წყლის მოლეკულებთან ურთიერთქმედებისას სუსტ (მცირედისო-

ცირებულ) ელექტროლიტებს წარმოქმნის. ზოგადი სახით ჰიდროლიზის რეაქცია ასე გამოისახება:



წონასწორობის კონსტანტა:

$$K = \frac{C_{MOH} \cdot C_{HA}}{C_{MA} \cdot C_{H_2O}}$$

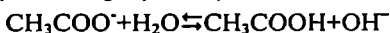
ვინაიდან წყლის კონცენტრაცია პრაქტიკულად მუდმივია, $K_A = K \cdot C_{H_2O} = \frac{C_{MOH} \cdot C_{HA}}{C_{MA}}$, სადაც K_A – ჰიდროლიზის კონსტანტა ეწოდება.

თუ ხსნარში, რომელიც შეიცავს 1 მოლ MA მარილს V ლიტრში, ჰიდროლიზს განიცდის მარილის x ნაწილი, დაუშლელი რჩება 1-x, ხოლო ფუძე MOH და მჟავა HA წარმოიქმნება x რაოდენობით. მაშასადამე, მივიღებთ შემდეგ კონცენტრაციებს:

$$C_{MA} = \frac{(1-x)}{V}, \quad C_{MOH} = C_{HA} = \frac{x}{V}; \quad K_A = \frac{x^2}{(1-x)V}, \quad \text{სადაც } x \text{ ჰიდროლიზის}$$

ხარისხი ან მარილის ჰიდროლიზირებული ნაწილის კონცენტრაციის შეფარდებაა ხსნარში არსებული მარილის კონცენტრაციასთან $\frac{C_{ჰიდრ.}}{C_{მარ.}}$.

განვიხილოთ სუსტი მჟავასა და ძლიერი ფუძისაგან მიღებული მარილის ჰიდროლიზი. მაგალითად, CH_3COONa .



ჰიდროლიზის კონსტანტა $K_A = \frac{C_{CH_3COOH} \cdot C_{OH^-}}{C_{CH_3COO^-}}$ მრიცხველისა და

მნიშვნელის C_{H^+} -ზე გამრავლებით მივიღებთ:

$$K_A = \frac{C_{CH_3COOH}}{C_{CH_3COO^-} \cdot C_{H^+}} \cdot C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = \frac{K_W}{K_{მჟავა}}$$

ამრიგად, სუსტი მჟავას მარილის ჰიდროლიზის კონსტანტა უდრის წყლის იონურ ნამრავლს, გაყოფილს ამ მჟავას დისოციაციის კონსტანტაზე.

ანალოგიურად, შეიძლება დაიწეროს სუსტი ფუძისა და ძლიერი მჟავას მარილის და სუსტი ფუძისა და სუსტი მჟავას მარილის ჰიდროლიზის კონსტანტები: $K_s = \frac{K_w}{K_{\text{ფუძე}}}$, $K_s = \frac{K_w}{K_{\text{მჟავა}} \cdot K_{\text{ფუძე}}}$.

პირველი სახის მარილების ხსნარებს ტუტე რეაქცია აქვს, მეორეს – მჟავა, ხოლო მესამე შემთხვევაში – სუსტი ფუძე ან სუსტი მჟავა რეაქცია. იმისდა მიხედვით, მარილის წარმოქმნელი რომელი ელექტროლიტია შედარებით ძლიერი.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ეწოდება ჰიდროლიზი?
2. რომელი მარილები წარმოიქმნება ჰიდროლიზის დროს?
3. რომელი მარილები განიცდის ჰიდროლიზს?
4. როგორ იცვლება სუსტი მჟავისა და ძლიერი ფუძის მიერ წარმოქმნილი მარილის ხსნარის pH?
5. როგორ იცვლება სუსტი ფუძისა და ძლიერი მჟავას მიერ წარმოქმნილი მარილის ხსნარის pH?

1.7. ხსნადობის ნამრავლი.

ნალექის წარმოქმნა და გახსნა.

ანალიზურ ქიმიაში ხშირად საკმე აქვთ მცირედ ხსნად ნივთიერებებთან, ვინაიდან ნალექის წარმოქმნა მრავალი ქიმიური ანალიზის საფუძველს წარმოადგენს, ამიტომ საჭიროა ნალექის გამოყოფა და გახსნის პროცესების დეტალური შესწავლა.

მყარი ელექტროლიტის წყალში გახსნისას, მისი იონები განიცდიან ჰიდრატაციას, გამოეყოფიან კრისტალის ზედაპირს და გადადიან წყალხსნარში. ერთდროულად მიმდინარეობს შებრუნებული პროცესი – კრისტალიზაცია, ე.ი. ხსნარიდან იონების გამოლექვა კრის-

ტალის ზედაპირზე. როცა კრისტალიზაციისა და გახსნის სიჩქარე გაუტოლდება ერთმანეთს, ხსნარი გახდება ნაჯერი და ჰეტეროგენურ სისტემაში მყარდება წონასწორობა.

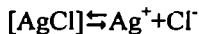


მყარი ფაზა ნაჯერი ხსნარი

როდესაც ძნელხსნადი მარილის ნალექი შეხებაშია ამ მარილის ნაჯერ ხსნართან, შეიმჩნევა ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო პროცესი:

1. იონების გადასვლა ნალექიდან ხსნარში. ამ პროცესის სიჩქარე უცვლელი ტემპერატურის პირობებში შეიძლება მუდმივად ჩაითვალოს $V_1=K_1$.
2. ხსნარიდან იონების გამოლექვა. ამ პროცესის სიჩქარე V_2 იონების კონცენტრაციაზე დამოკიდებული.

განვიხილოთ მაგალითი: როდესაც ვერცხლის ქლორიდის ნაჯერ ხსნარში $AgCl$ -ის ნალექსა და ხსნარში არსებულ Ag^+ -სა და Cl^- -ის იონებს შორის დინამიური წონასწორობა მყარდება, შეიძლება დავწეროთ:



ნალექი ხსნარი

მოქმედ მასათა კანონის თანახმად: $V_2=K_2[Ag^+][Cl^-]$, სისტემის წონასწორული მდგომარეობის გამო $V_1=V_2$, შესაბამისად $K_1=K_2[Ag^+][Cl^-]$, საიდანაც

$$[Ag^+][Cl^-]=K_1/K_2$$

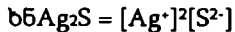
K_2 – მოცემული პროცესისათვის მოცემულ ტემპერატურაზე მუდმივი სიდიდეა, მაშასადამე $K_1/K_2=const$ (მუდმივი ტემპერატურის დროს) ან $[Ag^+][Cl^-]=const$.

ამრიგად, იონთა კონცენტრაციების ნამრავლი ძნელხსნადი ელექტროლიტების ნაჯერ ხსნარში მუდმივი ტემპერატურის დროს მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს. ამ სიდიდეს ხსნადობის ნამრავლი ეწოდება (ხნ).

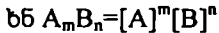
$$ხნ Ag^+Cl^-=[Ag^+][Cl^-]$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც ნივთიერება ორ ან მეტ ერთნაირ იონს შეიცავს, ხსნადობის ნამრავლის გაანგარიშების დროს მათი კონცენ-

ტრაციები შესაბამის ხარისხში აიყვანება.



ზოგადი სახით ხსნადობის ნამრავლის გამოსახულება A_mB_n ელექტროლიტისათვის ასე ჩაიწერება:



სხვადასხვა ნივთიერებებს ხსნადობის ნამრავლის განსხვავებული მნიშვნელობები აქვს. ისინი შეიძლება გამოვთვალოთ მოცემულ ტემპერატურაზე ელექტროლიტის ხსნადობიდან გამომდინარე. ხსნადობის ნამრავლის წესის ცოდნა გვებმარება სწორად ჩავატაროთ დალექვა თვისებით ანალიზში, გავიანგარიშოთ ხსნარის კონცენტრაცია, რომლიდანაც ხდება დალექვა, სწორად შევარჩიოთ დამლექავი, მისი რაოდენობა და დალექვის პირობები. ამას დიდი მნიშვნელობა აქვს გრავიმეტრული მეთოდით რაოდენობითი განსაზღვრის დროს. თუ ძნელადხსნადი ელექტროლიტის იონების კონცენტრაციათა ნამრავლი ხსნადობის ნამრავლზე ნაკლებია, ხსნარი უჯერია. იმ მომენტში, როდესაც იონური ნამრავლი მოცემული ელექტროლიტის ხსნადობის ნამრავლის სიდიდეს გადააჭარბებს, დაიწყება ნალექის გამოყოფა.

ამრიგად, ნალექი წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც ძნელადხსნადი იონთა კონცენტრაციის ნამრავლი გადააჭარბებს ელექტროლიტის ხსნადობის ნამრავლის სიდიდეს მოცემულ ტემპერატურაზე. როდესაც იონური ნამრავლი ხნ-ის სიდიდეს გაუტოლდება, ნალექის გამოყოფა შეწყდება. თუ ვიცით ორი ხსნარის მოცულობა და კონცენტრაცია, მაშინ წინასწარ შეგვიძლია ვივარაუდოთ, გამოიყოფა თუ არა ნალექი მათი შერევისას. ხსნადობის ნამრავლის სიდიდით სარგებლობენ იმ ელექტროლიტებისათვის, რომელთა ხსნადობა წყალში არ აღემატება 0,01 მოლ/ლ-ს.

ხნ სიდიდიდან ნივთიერების ხსნადობის გამოთვლა ხორციელდება იმის გათვალისწინებით, თუ რამდენი იონი წარმოიქმნება ამ ნივთიერების ხსნარში გადასვლისას. ბინარული ელექტროლიტის დროს კატიონების და ანიონების მოლების რიცხვი ერთმანეთის ტო-

ლი იქნება და ხსნადობა მოლ/ლ-ში უდრის კვადრატულ ფესვს ხნ-დან. გრამებში გადასაყვანად ეს რიცხვი უნდა გამრავლდეს ნივთიერების მოლეკულურ მასაზე. პირიქით, ხსნადობიდან გამომდინარე, ხნ გამოთვლა ხდება ისევ იონების რაოდენობის გათვალისწინებით, ხოლო ბინარული ელექტროლიტის შემთხვევაში მოლეკულაში გამოსახული ხსნადობის მნიშვნელობა, აიყვანება კვადრატში. ხსნადობის ნამრავლზე გავლენას ახდენს სხვადასხვა ფაქტორები:

1. დამლექავის რაოდენობა. უფრო სრული დალექვისათვის ხმარობენ დამლექავის ჭარბ რაოდენობას. მაგრამ უნდა ვერიდოთ დიდი სიჭარბით დამლექავის გამოყენებას კომპლექსური, მჟავა და სხვა მარილების წარმოქმნის შესაძლებლობის გამო. პრაქტიკაში, ჩვეულებრივ, დამლექავის ერთნახევრიან სიჭარბეს იყენებენ. დიდი მნიშვნელობა აქვს დამლექავის დისოციაციის ხარისხს. სუსტი ელექტროლიტის ხსნარში რეაქციაში შემავალი იონების კონცენტრაცია ბევრად უფრო მცირეა თვით ელექტროლიტის კონცენტრაციაზე. მაშასადამე, მცირედ დისოცირებული რეაქტივის მეშვეობით დალექვა ნაკლებად სრული იქნება.
2. თანამოსახელე იონები. ძნელადხსნადი ელექტროლიტების ხსნადობა მცირდება თანამოსახელე იონების მქონე სხვა ძლიერი ელექტროლიტების თანაობისას. თუ $BaSO_4$ -ის უჯერ ხსნარს მცირე რაოდენობით დაეუმატებთ Na_2SO_4 -ის ხსნარს, მაშინ იონური ნამრავლი, რომელიც თავდაპირველად $BaSO_4$ -ის ხნ ($1,1 \cdot 10^{-10}$)-ზე ნაკლები იყო, თანდათანობით გაიზრდება, მიაღწევს და გადაჭარბებს $BaSO_4$ -ს ხსნადობის ნამრავლს ხნ _{$BaSO_4$} -ს. დაიწყება ნალექის გამოყოფა.
3. მარილოვანი ეფექტი. მარილები, რომლებსაც არ გააჩნია თანამოსახელე იონები, ასევე ახდენს გავლენას ელექტროლიტის ხსნადობაზე. ოღონდ ამ შემთხვევაში საპირისპირო მიმართულებით – ელექტროლიტის ხსნადობა იზრდება. ასე მაგალითად: $AgCl$ -ის ხსნადობა იზრდება Na_2SO_4 -ის თანაობისას. ამ მოვლენას მარილოვანი ეფექტი ეწოდება.

4. ტემპერატურა. მუდმივ ტემპერატურაზე ხსნადობის ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა. ტემპერატურის გადიდებით ხსნადობის ნამრავლის სიდიდე იზრდება, ამიტომ დალექვას, როგორც წესი, ცივ ხსნარში ახდენენ. ცხელ ხსნარში დალექვას მხოლოდ მაშინ მიმართავენ, როდესაც მაღალი ტემპერატურა დადებით გავლენას ახდენს ნალექის ხასიათზე (ამორფული მდგომარეობიდან გადაყავს კრისტალურში, თავიდან გვაცილებს კოლოიდურ ხსნარების წარმოქმნას და ა.შ).

ხსნადობის ნამრავლის წესის ცოდნა აუცილებელია ძნელხსნადი ნალექების ხსნარში გადაყვანის დროსაც. ნალექის გახსნა იწყება მაშინ, როდესაც გარკვეული მიზეზით მცირედხსნადი ელექტროლიტის იონური ნამრავლი ნაკლები ხდება ხნ-ის სიდიდეზე. იმისათვის, რომ ნალექი გაიხსნას, ხსნარში შეყავთ ისეთი ელექტროლიტი, რომლის იონებს უნარი აქვს წარმოქმნას მცირედდისოცირებული ნაერთი ძნელადხსნადი ელექტროლიტის ერთ-ერთ იონთან.

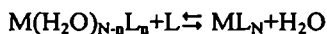
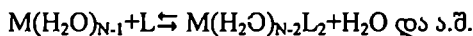
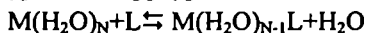
საკონტროლო კითხვები

1. რა პროცესები მიმდინარეობს სისტემაში, რომელიც შედგება ძნელადხსნადი ელექტროლიტის ნალექისა და ხსნარისაგან?
2. რას ეწოდება ხსნადობის ნამრავლი?
3. როგორია ზოგადი სახით ხნ-ის გამოსახულება?
4. როდისაა შესაძლებელი ნალექის წარმოქმნა?
5. რომელი ფაქტორები ახდენს გავლენას ნალექის წარმოქმნაზე?

1.8. კომპლექსური ნაერთები

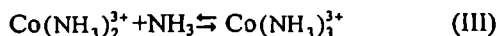
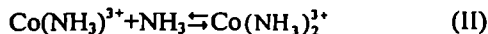
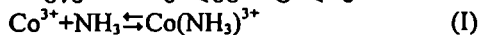
კომპლექსურ ნაერთებს რთული შედგენილობა აქვს. მასში გამოყოფენ ცენტრალურ ატომებს (კომპლექსწარმოქმნელებს) და მასთან დაკავშირებულ ლიგანდებს (დამუხტულ, ან ნეიტრალურ, არაორ-

განულ ან ორგანულ იონებს ან მოლეკულებს). კომპლექსწარმოქმნის რეაქცია, ანალიზური მიზნებისათვის საერთოდ შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ. მეტალთა იონები ხსნარებში არიან სოლვატირებული, ე.ი. მათ ირგვლივ კოორდინირება ხდება გამხსნელის მოლეკულების, წყლის შემთხვევაში აკვომოლეკულების წარმოქმნით, რომელიც ზოგადი სახით შეიძლება შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ: $M(H_2O)_N^{n+}$ (N – კომპლექსწარმოქმნელის კოორდინაციული რიცხვია). ხსნარში კომპლექსის წარმოქმნის უნარის მქონე ნივთიერებათა ლიგანდების (L) შეყვანისას, თანამიმდევრულად ხდება წყლის მოლეკულების გამოძევება შიდაკოორდინაციული სფეროდან და მათი ლიგანდების ჩანაცვლება:



განზავებულ ხსნარებში წყლის აქტიურობა შეიძლება ჩაითვალოს ერთის ტოლად და არ იყვეს გათვალისწინებული აკვოკომპლექსის წარმოქმნასა და დაშლასთან დაკავშირებული, ხოლო კომპლექსწარმოქმნა წარმოდგენილი იყვეს, როგორც კომპლექსწარმოქმნელის ურთიერთქმედება უშუალოდ ლიგანდთან.

მაგალითად განვიხილოთ ჰექსამინოკობალტიტ (III)-ის იონის წარმოქმნა, რომელშიც კოორდინაციული რიცხვი Co^{3+} -ის ექვსის ტოლია. ის შეიძლება ჩაეწეროს შემდეგი სტადიების სახით:

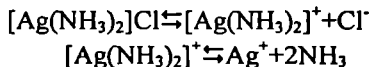


მოცემული რეაქციისათვის შეიძლება ჩაიწეროს ეგრეთწოდებული საფეხურიუბრივი მდგრადობის კონსტანტა:

$$K_I = \frac{[\text{Co}(\text{NH}_3)_3^{3+}]}{[\text{Co}^{3+}][\text{NH}_3]}, \dots K_{VI} = \frac{[\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}]}{[\text{Co}(\text{NH}_3)_5^{3+}][\text{NH}_3]};$$

კომპლექსწარმოქმნის დროს წარმოქმნილ ქიმიურ ბმებს დონორულ აქცეპტორული ბუნება აქვს. ასეთი ბმა ხორციელდება ელექტრონული წყვილის ხარჯზე, რომელიც თავდაპირველად ერთ-ერთ ატომს ეკუთვნის, ხოლო ნაერთის შედეგად ორი ატომის საზიარო ხდება, კომპლექსწარმოქმნელებს შიგა და გარე ელექტრონულ გარსზე ვაკანტური ადგილები აქვს, ხოლო ლიგანდებს გააჩნიათ ელექტრონთა თავისუფალი გაუყოფელი წყვილი. ამ დროს ლიგანდი დონორის როლში გამოდის, ხოლო კომპლექსწარმოქმნელი – აქცეპტორის. კომპლექსური ნაერთების დისოციაცია ორ სტადიად მიმდინარეობს: ა) კომპლექსურ და მარტივ იონებად დისოციაცია, ბ) კომპლექსური იონის დისოციაცია.

დისოციაციის პირველი სტადია ძლიერი ელექტროლიტების დისოციაციის მსგავსად მიმდინარეობს, ხოლო თვით კომპლექსური იონის დისოციაცია სუსტი ელექტროლიტების დისოციაციის მსგავსად. ასე მაგალითად: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ -ის დისოციაცია შემდეგი სახით გამოისახება:

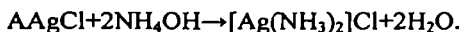


კომპლექსური იონის დისოციაცია, როგორც ყოველი სუსტი ელექტროლიტისა, შექცევადი პროცესია, სადაც წონასწორობის დროს კომპლექსურ იონსა და მისი დისოციაციის პროდუქტების (მარტივი იონების ან მოლეკულების) კონცენტრაციებს შორის გარკვეული თანაფარდობა მყარდება. კომპლექსური იონის, როგორც სუსტი ელექტროლიტის, წონასწორობის კონსტანტა გამოისახება განტოლებით:

$$K = \frac{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+};$$

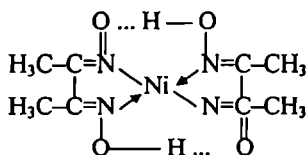
სადაც K – კომპლექსური იონის არამდგრადობის კონსტანტაა. რაც მეტია ეს კონსტანტა, მით მეტია კომპლექსის უნარი – დაიშა-

ლოს მის შედგენილობაში შემავალ კომპონენტებად და შესაბამისად, კომპლექსური იონი ნაკლებად მდგრადია. კომპლექსური ნაერთების სიმტკიცეს ანალიზურ პრაქტიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს. ისინი ანალიზურ ქიმიაში სხვადასხვა მიზნით გამოიყენება. უკვე დასახელებულ მაგალითში $K_4[Fe(CN)_6]$ -ის ხსნარს Fe^{3+} -ის აღმოჩენ რეაქტივად იყენებენ, ხოლო $K_3[Fe(CN)_6]$ -ის ხსნარს Fe^{2+} -იონის აღმოსაჩენად. ხშირად კომპლექსური ნაერთების წარმოქმნა ნალექის გახსნის მიზნით გამოიყენება. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ $AgCl$ -ის ნალექის გახსნა NH_4OH -ში:



კომპლექსწარმოქმნა გამოიყენება იმ ატომების შესაბოჭად, რომლებიც ანალიზის ჩატარების დროს სხვა ატომების განსაზღვრას ართულებს. რომელიმე იონის მდგრად კომპლექსურ ნაერთებში გადაყვანისას იმდენად მცირდება მისი კონცენტრაცია, რომ იგი სხვა იონების აღმოჩენას ან განსაზღვრას ხელს აღარ უშლის.

კატიონ-ომპლექსწარმოქმნელების ურთიერთქმედებისას ზოგიერთ ორგანულ ლიგანდებთან წარმოიქმნება შიგაკომპლექსური ნაერთები. მაგალითად, ნიკელის მარილების დიმეთილგლიოქსიმთან რეაქციის შედეგად მიიღება შიგაკომპლექსური ნაერთი:



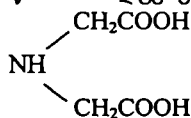
ამ ნაერთში კომპლექსწარმოქმნელი Ni^{2+} ორგანულ ლიგანდებით ან კოვალენტური და დონორულ-აქცეპტორული ბმებით არის დაკავშირებული. კოვალენტური ბმა ასეთ ნაერთებში უწყვეტი ხაზით აღინიშნება, ხოლო დონორულ-აქცეპტორული-ცენტრალური იონ-კომპლექსწარმოქმნელისაკენ მიმართული ისრით.

ლიგანდები ხასიათდებიან დენტატობით, ე.ი. უნარი დაიკავონ განსაზღვრული რიცხვი კოორდინაციული ადგილისა ცენტრალური

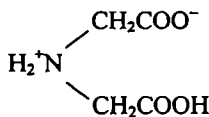
იონის ახლოს. მონო ან ერთდენტატნური ლიგანდები იკავებენ ერთ კოორდინაციულ ადგილს (OH^- , F^- , NH_3 და სხვა), ბი ან ორდენტატნური – ორი (ეთილენდიამინი, $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ და სხვა) და ა.შ. არსებობენ ხუთი და ექვსდენტატნური ლიგანდები და უფრო მაღალი დენტატნობის ლიგანდები. პოლიდენტატნური ლიგანდები მეტალთა იონებთან ჩვეულებრივად წარმოქმნიან კოორდინაციულ ნაერთებს, რომლებიც შეიცავენ ციკლს – ჩაკეტილ ატომთა ჯგუფს. მაგალითად, რეაქციის შედეგად $\text{Cu}^{2+} + \text{NH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- = \text{CuNH}_2\text{COO}^+$, რომელიც წარმოქმნის ერთწევრიან ციკლს

ძალიან ხშირად კოორდინაციული ნაერთების მოლეკულაში ითვლიან ორ, სამ და მეტ წევრს. კოორდინაციული ნაერთების მდგრადობის გაზრდით, ხუთ და ექვს წევრიანი ციკლი შემჩნეული იყო ლ.ა. ჩუგაევის მიერ. შესაბამისად კოორდინაციულ ნაერთებს ერთი ან რამდენიმე ციკლით ხელატური უწოდეს, ან უბრალოდ ხელატები. ტიპიურ ხელატებს წარმოადგენენ მეტალთა იონების კომპლექსონებთან ნაერთები, რომლებსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე ანალიზურ ქიმიაში.

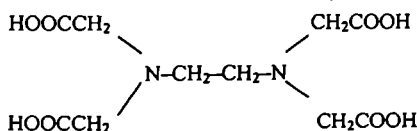
კომპლექსონებს უწოდებენ პოლიამინოპოლიკარბონმჟავების ჯგუფს, რომლის უმარტივესი წარმომადგენელია იმინოდიმარმჟავა



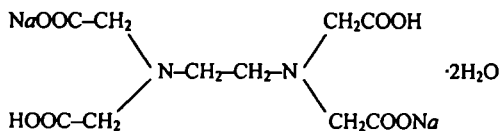
წყალხსნარებში მათ აქვთ ბეტაიონური სტრუქტურა, ე.ი. არსებობენ ბიპოლარული სახით



კარგად არის ცნობილი ისეთი კომპლექსონები, როგორიც არის ეთილენდიამინოტეტრაიმარმჟავა (ე.წ. ЭДТА), ან კომპლექსონ ||;



მისი ორნატრიუმის მარილი, ეთილენდიამინტეტრაამმარმევა დინატრიუმი



ცნობილია კომპლექსონ III-ის ან ტრილონ ნ-ს სახელწოდებით.

კომპლექსონ III კატიონებთან ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება შიგაკომპლექსური ნაერთები რამდენიმე ხუთწევრიანი ციკლით. ასეთ კომპლექსებს ხელატურს ან მარწუხისებურს უწოდებენ.

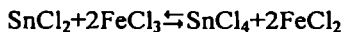
კომპლექსონების მნიშვნელობა ძალიან დიდია. კომპლექსონების გაჩენამ ფართო პერსპექტივა შექმნა ანალიზურ ქიმიაში მათი გამოყენებისა. შემუშავდა ანალიზის ახალი მეთოდები და ნაპოვნი იქნა ანალიზის მრავალი რთული პრობლემის უმარტივესი გადაწყვეტის გზები. კომპლექსონების გამოყენებით შესაძლებელია 60-ზე მეტი ელემენტის განსაზღვრა. ამჟამად, ანალიზური ქიმიის თითქმის არცერთი ნაწილი გვერდს ვერ უვლის კომპლექსონების გამოყენებას. კომპლექსონები ეფექტურად გამოიყენება სახალხო მეურნეობის მრავალ დარგში.

საკონტროლო კითხვები

1. რომელ ნაერთებს ეწოდება კომპლექსური?
2. რას ეწოდება კომპლექსარმომქმნელი და ლიგანდი?
3. რა არის კოორდინაციული რიცხვი?
4. როგორ ხორციელდება დონორულ-აქცეპტორული ბმა?
5. როგორ გამოისახება $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+\text{NH}_4^+$ კომპლექსური იონის არამდგრადობის კონსტანტა?
6. რა მიზნით გამოიყენება კომპლექსური ნაერთები ანალიზურ ქიმიაში და პრაქტიკაში.

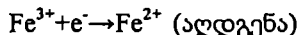
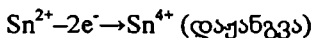
1.9. დაჟანგვა – აღდგენის რეაქციები

დაჟანგვა – აღდგენითი რეაქციების განსაკუთრებულ მახასიათებელს წარმოადგენს ელექტრონების გადასვლა მორეაგირე ნივთიერებათა ნაწილაკებს შორის. ე.ი. ქიმიურ პროცესებს, რომელთა მიმდინარეობის დროსაც რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების შემადგენელი ატომები ან იონები იცვლის ჟანგვის რიცხვს ელექტრონების გაცემის ან შეძენის შედეგად, დაჟანგვა – აღდგენის რეაქციები ეწოდება. ჟანგვის რიცხვი ეწოდება ატომის მუხტს, რომელიც წარმოიქმნება მისი ელექტრონების სხვა ელემენტის ატომისაკენ გადაადგილების შედეგად. ელემენტის ატომი, რომლის ელექტრონები გადაადგილდება სხვა ელემენტის ატომისაკენ, ავლენს დადებით ჟანგვის რიცხვს, ხოლო ის ატომები, რომლებსკენაც გადაინაცვლებს ელექტრონები, უარყოფით ჟანგვის რიცხვს. ნაწილაკს, რომელიც იძენს ელექტრონს დამჟანგველს უწოდებენ, ხოლო ნაწილაკს, რომელიც გაცემს ელექტრონს აღმდგენელი ეწოდება. ელექტრონის გაცემის პროცესს დაჟანგვა ეწოდება, ხოლო ნაწილაკის მიერ ელექტრონის მიერთების პროცესს აღდგენა. დაჟანგვის დროს ჟანგვის რიცხვი იზრდება, ხოლო აღდგენისას ჟანგვის რიცხვი მცირდება. დაჟანგვა-აღდგენის რეაქცია შეიძლება დაიყოს ჟანგვის ნახევარრეაქციად და აღდგენის ნახევარ რეაქციად. მაგალითად, რეაქცია



აღმდგენი დამჟანგველი

შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახევარრეაქციების შეჯამებული სახით:



ნახევარ რეაქციებში მონაწილე ნივთიერებები, ქმნიან დაჟანგვა-აღდგენით პროცესს. ამ კომპონენტებიდან ერთს უწოდებენ დაჟანგულს, ხოლო მეორეს – აღდგენილს.

სისტემის უნარის რაოდენობრივ მახასიათებელს დაჟანგვისა თუ აღდგენისა წარმოადგენს დაჟანგვა-აღდგენის პოტენციალი. როგორც

ცნობილია, ელემენტთა ატომებს და იონებს აქვთ ელექტრონების გაცემის ან შეერთების სხვადასხვა უნარი. რაც უფრო მეტად ამჟღავნებს ნაწილაკი ელექტრონისადმი სწრაფვას, მით უფრო მკვეთრად არის გამოხატული დამჟანგველობითი უნარი. აღმდგენი თვითონ გასცემს ელექტრონებს, ხოლო მჟანგავი აღმდგენს ართმევს ამ ელექტრონებს. აღმდგენის მიერ გაცემული ელექტრონების რიცხვი მჟანგავის მიერ მიღებულ ელექტრონთა რიცხვის ტოლი უნდა იყოს. ელექტროლიტთა ხსნარებში, ნაწილაკთა უშუალო კონტაქტის დროს, იქმნება შესაძლებლობა ელექტრონების გადასვლისა ერთი იონიდან მეორეზე. სხვადასხვა მჟანგავებსა და აღმდგენებს სხვადასხვანაირი ქიმიური აქტივობა აქვს. სხვადასხვა ნივთიერების მიერ ელექტრონების მიერთების ან გაცემის ინტენსივობა დაჟანგვა-აღმდგენის პოტენციალით იზომება. რაც მეტია პოტენციალის სიდიდე, მით უფრო ძლიერად არის გამოხატული ნივთიერებების მჟანგავი უნარი და პირიქით, რაც ნაკლებია პოტენციალის სიდიდე, მით უფრო სუსტია მჟანგავი თვისებები. დაჟანგვა-აღმდგენის (რედოქს) პოტენციალის სიდიდეს ზომავენ გალვანურ ელემენტებში ელექტროქიმიური საშუალებებით და იგი მოცემულ სისტემაში დამოკიდებულია ჟანგვითი და აღმდგენითი ფორმების კონცენტრაციების თანაფარდობაზე.

რეაქციის ჩატარებისას, გალვანურ ელემენტში ქიმიური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრონულად. გალვანური ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ე.მ.ძ.) შეიძლება გაიზომოს პოტენციომეტრის მეშვეობით. ელექტრომამოძრავებელი ძალა წარმოადგენს ორი ელექტროდის პოტენციალთა სხვაობას.

$$\text{ე.მ.ძ.} = E_1 - E_2 (I)$$

სადაც E_1 —დამჟანგველის, ხოლო E_2 —აღმდგენელის პოტენციალებია.

ყოველი ელექტროდი ან ნახევარელექტროდი თავის მხრივ წარმოადგენს მოცემული ნივთიერებების დაჟანგული და აღმდგენილი ფორმის სისტემას. ამ სისტემას ასევე უწოდებენ დაჟანგვა-აღმდგენის,

ან რედოქს-წყვილს. ასეთ რედოქს-წყვილებს წარმოადგენენ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$; $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$; $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ და ა.შ. ტერმინი „რედოქს“ წარმოშობილია ლათინური სიტყვიდან *reductio* (აღდგენა) და *Oxidatio* (დაჟანგვა). ცალკეული ჟანგვა-აღდგენითი წყვილის პოტენციალის გაზომვა შეუძლებელია. მაგრამ წყვილების დახასიათება შეიძლება ადვილად მივიღოთ, თუ ცალკეულ ელექტროდს გაუკეთებთ კომბინირებას ერთსა და იმავე ელექტროდთან, რომელსაც პირობითად ჩავთვლით სტანდარტად. სტანდარტულ ელექტროდად მიჩნეულია წყალბადური ელექტროდი. სტანდარტული წყალბადური ელექტროდის პოტენციალი მიღებულია ნულის ტოლად ნებისმიერი ტემპერატურის დროს. შესაბამისად $E_2=0$, მაშინ მივიღებთ, რომ $E_{\text{მ.ძ.}}=E_1$.

დაჟანგვა-აღდგენითი პოტენცია E – სიდიდის (რედოქს პოტენციალის სიდიდე) დამოკიდებულება კონცენტრაციასა და ტემპერატურასთან გამოისახება ნერსტის განტოლებით:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{დაჟანგ.}]}{[\text{აღდგ.}]}$$

სადაც E არის მოცემული წყვილის დაჟანგვა – აღდგენის პოტენციალი ვოლტებში;

E_0 – წყვილის ნორმალური დაჟანგვა – აღდგენის პოტენციალი, ვოლტებში;

R – უნივერსალური კონსტანტა, იგი უდრის 8,315 ჯ/გრად.

T – აბსოლუტური ტემპერატურა, °K;

n – ელექტრონების რიცხვი, რომელსაც გასცემს ან მიიერთებს დაჟანგული ან აღდგენილი ფორმა.

F – ფარადეის რიცხვი, იგი უდრის 96500 კულონს.

[დაჟანგ.] და [აღდგ.] – დაჟანგული და აღდგენილი ფორმის კონცენტრაციები.

თუ განტოლებაში ჩავსვამთ R და F მნიშვნელობებს, გადავალთ ნატურალურიდან ათობით ლოგარითზე და ჩავთვლით, რომ $T=293^\circ\text{K}$ (20°C), მივიღებთ

$$E = E_0 + \frac{0,058}{n} \ln \frac{[\text{დაჟანგ.}]}{[\text{აღდგ.}]}$$

თუ დაჟანგული ფორმის კონცენტრაციას აღდგენილი ფორმის კონცენტრაციის ტოლად მივიღებთ, ე.ი. $\frac{[\text{დაჟანგ.}]}{[\text{აღდგ.}]}=1$, მაშინ

$$\ln \frac{[\text{დაჟანგ.}]}{[\text{აღდგ.}]} = \lg 1 = 0, E = E_0.$$

სხვადასხვა სისტემების ნორმალური (სტანდარტული) პოტენციალები ექსპერიმენტურად განისაზღვრება. თუ ცნობილია მათი სიდიდეები, შეგვიძლია განვსაზღვროთ, თუ რა მიმართულებით წარმართება ესა თუ ის დაჟანგვა-აღდგენის პროცესი.

ლითონის უნარის მიხედვით, გამოაძევეს (აღადგინოს) სხვა ლითონები მათი მარილებიდან, რასაც საფუძვლად უდევს ლითონების სტანდარტული ელექტროდული პოტენციალები, ყველა ლითონი შეიძლება განლაგდეს ე.წ. ძაბვავთა მწკრივში:

Li, K, Ba, Sr, Ca, Na, Mg, Mn, Zn, Al, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, H, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

რაც უფრო მარცხნივაა ლითონი ძაბვათა მწკრივში, მით უფრო ძლიერი აღმდგენელია იგი. თუ ხსნარში არის მჟანგავი და რამდენიმე აღმდგენი, მაშინ მჟანგავი პირველ რიგში ძლიერ აღმდგენთან რეაგირებს. იგივე შეიძლება ითქვას რამდენიმე მჟანგავზე და ერთ აღმდგენზე.

ნაერთებს, სადაც მოცემული ელემენტების ატომს ჟანგვის უმაღლესი რიცხვი აქვს, შეუძლია მხოლოდ მჟანგველების თვისებები გამოამჟღავნოს და პირიქით. თუ ნაერთებს, სადაც მოცემული ელემენტის ატომს ჟანგვის უდაბლესი რიცხვი აქვს, შეუძლია მხოლოდ აღმდგენის თვისებები გამოამჟღავნოს, ხოლო თუ ელემენტის ატომს ნაერთში ჟანგვის შუალედური რიცხვი აქვს, მაშინ პირობების მიხედვით, ასეთი ნაერთი ამჟღავნებს როგორც მჟანგავისა, ასევე აღმდგენის თვისებებს.

დაჟანგვა-აღდგენის რეაქციები ფართოდ გამოიყენება როგორც თვისებით, ისე რაოდენობით ანალიზში.

1. რომელ რეაქციებს ეწოდება დაჟანგვა-აღდგენის?
2. რას ეწოდება ჟანგვის რიცხვი?
3. განსაზღვრეთ Mn-ის ჟანგვის რიცხვი შემდეგ ნაერთებში:
 MnO_2 ; K_2MnO_4 ; $KMnSO_4$?
4. რა იზომება დაჟანგვა – აღდგენის პოტენციალით?
5. რომელი განტოლებით ანგარიშობენ დაჟანგვა – აღდგენის პოტენციალს?
6. რა არის ლითონების ძაბვათა მწკრივი?

1.10. კოლოიდური ხსნარები

ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში ამა თუ იმ იონის აღმოჩენის დროს ხშირად მიმართავენ დალექვის რეაქციას, მაგრამ არის შემთხვევები, როდესაც რეაქციის შედეგად მიღებული ძნელადხსნადი ნაერთი კოლოიდურ მდგომარეობაში გადადის და ამიტომაც არასრულად ილექება. ანალიზის პროცესში კოლოიდური ხსნარების წარმოქმნა მეტწილად უარყოფით როლს ასრულებს, ვინაიდან მრავალი ქიმიური ოპერაციის (დალექვა, გაფილტვრა, ნალექების ჩარეცხვა) ბოლომდე მიყვანა რთულდება.

რომელიმე ნივთიერების წვრილად დაქუცმაცებული ნაწილაკების სხვა ნივთიერების არეში თანაბრად განაწილებისას მიიღება დისპერსული სისტემა. ამ სისტემის დაქუცმაცებული ნაწილაკების ერთობლიობას ეწოდება დისპერსული ფაზა, ძირითად არეს (გამხსნელს) – დისპერსული არე.

ქიმიურ ანალიზში ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ისეთ სისტემებს, რომლებშიც დისპერსულ არეს წარმოადგენს წყალი, ხოლო დისპერსულ ფაზას – მყარი ნივთიერება.

სხვადასხვა დისპერსული სისტემები განსხვავდებიან ერთმანე-

თისაგან, უპირველეს ყოვლისა დისპერსულობის ხარისხით, ე.ი. ნაწილაკთა ზომით. რაც უფრო მცირეა ნაწილაკთა ზონა, მით მეტია დისპერსულობის ხარისხი და პირიქით. ნაწილაკების ზომის მიხედვით დისპერსული სისტემები სამ ჯგუფად იყოფა. თუ დისპერსული ნაწილაკები აღემატება 1000 მმკ-ს, მაშინ შესაფერ დისპერსულ სისტემას ეწოდება სუსპენზია (წყალში შეწონილი თიხის ნაწილაკები). თუ ძნელადხსნადი ნაერთის ნალექის ნაწილაკების ზომა მერყეობს 100-1მმკ-ს შორის, შესაფერ დისპერსულ სისტემას ეწოდება კოლოიდური ხსნარი ანუ ზოლი (გრუხხნარი). თუ სისტემაში ნაწილაკის ზომა 1 მმკ-ზე ნაკლებია, მაშინ მას ჩვეულებრივად (ჰემმარიტ) ხსნარს უწოდებენ.

კოლოიდური ხსნარები ანუ ზოლები მიკრო-ჰეტეროგენულ სისტემას წარმოადგენენ, რომლებიც ჰემმარიტი ხსნარებიდან განსხვავდებიან, პირველ რიგში ფიზიკური თვისებებით.

კოლოიდურ ხსნარში სხივთა კონის გატარებისას წარმოიშობა მანათობელი კონუსი (ტინდალის მოვლენა). ეს აიხსნება იმით, რომ ვარდნილი სხივის ტალღის სიგრძე შედარებით დიდია, შუქთგანმზნევი კოლოიდური ნაწილაკის წირულ ზომაზე, რის გამო სხივი შემოუვლის მის გზაზე მდგომ ნაწილაკს, ე.ი. ხდება სხივის ტალღის დიფრაქცია. სწორედ ასეთი შუქთგანმზნევა ტინდალის მოვლენის მიზეზს წარმოადგენს. კოლოიდური სისტემებიდან ანალიზური ქიმიისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროზოლებს, ე.ი. კოლოიდურ წყალხსნარებს. კოლოიდურ წყალხსნარების ნაწილაკების აღმოჩენა ჩვეულებრივი მიკროსკოპით შეუძლებელია. მათი დანახვა შეიძლება ულტრამიკროსკოპით, ასევე ელექტრონული მიკროსკოპის საშუალებით. კოლოიდური ხსნარების ნაწილაკები თავისუფლად გადის ქაღალდის, მინის და კერამიკული ფილტრების ფორმებში, მაგრამ შეკავდება ე.წ. ულტრაფილტრატების მიერ. რომლებსაც კოლოიდუმის, პერგამენტის და სხვა ამდაგვარი მასალებისაგან ამზადებენ. კოლოიდური ხსნარები არის მიკროჰეტეროგენული სისტემები. ისინი იმყოფება ბროუნის მოძრაობის მდგომარეობაში, ამიტომ სიმძიმის

ძალის მოქმედებით არ ილეექება. კოლოიდური ნაწილაკები თანაბრადაა განაწილებული გამხსნელის მთელ მოცულობაში. ვინაიდან კოლოიდური ნაწილაკების საერთო ზედაპირი ძალიან დიდია, ხოლო სისტემის თავისუფალი ზედაპირული ენერგია შემცირებისაკენ მიისწრაფვის, ამიტომ შეიძლება გვფიქრა, რომ შეჯახებისას კოლოიდური ნაწილაკები ერთმანეთთან უნდა შეწებებულყოფ, მაგრამ სინამდვილეში კოლოიდური სისტემები საკმაოდ მდგრადია და ნაწილაკების შეწებების პროცესი თავისთავად ძალიან ნელა მიმდინარეობს. ეს იმით აიხსნება, რომ ერთი და იგივე ზოლის ყველა კოლოიდურ ნაწილაკს – გრანულას აქვს ერთსახელიანი ელექტრული მუხტი. სწორედ ეს ერთსახელიანი ელექტრული მუხტები აფერხებენ გრანულების შეჯახებას და მსხვილ აგრეგატებად გაერთიანებას. კოლოიდური ნაწილაკების ზედაპირზე მუხტები წარმოიქმნება ხსნარში არსებული კატიონების ან ანიონების ადსორბციის ხარჯზე. ზოგიერთი კოლოიდური სისტემის თითოეული ნაწილაკი დადებითაა დამუხტული. ხოლო ზოგიერთისა – უარყოფითად.

კოლოიდური ნაწილაკების აღნაგობა, რომელთა სტაბილურობა იონური შრეების არსებობით არის განპირობებული (ე.წ. ჰიდროფობური ზოლები), შემდეგნაირად წარმოგვიდგება: კოლოიდური ნაწილაკი შეიცავს უხსნად ბირთვს, რომლის ზედაპირზე ადსორბირებულია მუხტის მიმნიჭებელი მასტაბილიზირებელი იონები. მათ პოტენციალ განმსაზღვრელი იონები ეწოდება. საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე იონების მეორე შრე განლაგებულია ხსნარში ნაწილაკების გარშემო. მათ დიფუზიური აღნაგობა აქვს. ბირთვი, გრანულისაგან განსხვავებით, მის გარშემო არსებულ ორმაგ ელექტრონულ შრესთან ერთად ელექტრონეიტრალური კოლოიდური ნაწილაკია, რომელსაც მიცელა ეწოდება. ორმაგი ელექტრონული შრე უზრუნველყოფს კოლოიდური ნაწილაკების გამხსნელთან ელექტროსტატიკურ ურთიერთქმედებას, რაც კოლოიდურ ხსნარს სტაბილურობას ანიჭებს.

ჰიდროფობური ზოლები, რომლებიც იონური შრეებით არის სტაბილიზებული, შეიძლება უფრო მსხვილ ნაწილაკებად გარდავ-

ქმნათ. კოლოიდური ნაწილაკების გამსხვილების პროცესს, რომელიც ნივთიერების ნალექში გადასვლით სრულდება, კოაგულაცია ეწოდება. წყალხსნარების კოაგულაცია შეიძლება გამოვიწვიოთ მასზე მცირე რაოდენობით რომელიმე ელექტროლიტის მიმატებით.

ჰიდროფილური კოლოიდები კოაგულაციას განიცდის ელექტროლიტების ან რომელიმე მადეჰიდრატირებელი (მაგ. სპირტის) გამხსნელის დამატებით.

კოლოიდური ხსნარები წარმოიქმნება არა მარტო ნალექის მიღების დროს, არამედ მათი ჩარეცხვის დროსაც. ამას ადგილი აქვს ჩარეცხვის ბოლოს, როდესაც ნალექში რჩება მაკოაგულირებელი იონების უმნიშვნელო რაოდენობა. ამის გამო ხდება ორმაგი ელექტროლი შრის სისქის გადიდება და ნაწილაკის ზოლში გადასვლა. კოლოიდური ნაწილაკის ნალექიდან ზოლში გადასვლას პეპტიზაცია ეწოდება. პეპტიზაციის თავიდან ასაცილებლად ზოგჯერ ნალექს ჩარეცხვენ არა სუფთა წყლით, არამედ ელექტროლიტების ხსნარებით. ძალიან ხშირად ხსნარების ჩასარეცხად ხმარობენ ამონიუმის მარილებს, რამდენადაც გახურებით ისინი სცილდებიან და არ ხდება ნალექის დაბინძურება.

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება დისპერსული სისტემა?
2. რას ეწოდება კოლოიდური ხსნარები?
3. როგორია კოლოიდური ნაწილაკების აღნაგობა?
4. რა არის კოაგულაცია?
5. რა არის პეპტიზაცია?
6. ნალექის ჩარეცხვის დროს წყალზე რას ამატებენ?

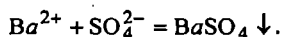
თავი 2. თვისებითი ანალიზი

2.1. თვისებითი ანალიზის მეთოდები და არსი

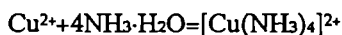
თვისებითი ანალიზის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ნივთიერებების ქიმიური შედგენილობის დადგენა, ე.ი. საანალიზო ნივთიერებებში კათიონების და ანიონების აღმოჩენა.

თვისებითი ანალიზის ქიმიურ მეთოდებში განსასაზღვრავი კომპონენტი (ატომები, იონები, მოლეკულები) გადაჰყავთ ნაერთებში, დამახასიათებელი თვისებებით (გამოიყოფა ნალექი, იცვლება ხსნარის შეფერილობა, გამოიყოფა აირი და ა.შ.), რომლის საფუძველზე შეიძლება დადგინდეს, რომ მონაწილეობს სწორედ ეს კომპონენტი.

მაგალითად: SO_4^{2-} ანიონის აღმოჩენა საკვლევ ხსნარებში შესაძლებელია თეთრი ფერის ნალექის BaSO_4 (ბარიუმის სულფატის) წარმოქმნით, რომელიც არ იხსნება აზოტმჟავაში HNO_3 . ამისათვის, საკვლევ ხსნარს უმატებენ H_2SO_4 და BaCl_2 . SO_4^{2-} იონის არსებობისას მიმდინარეობს რეაქცია:



თუ სპილენძის (II) მარილის შემცველ ხსნარს ნაჯერობით დავუმატებთ ამიაკის ხსნარს $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, მაშინ ხსნარი ლურჯად შეიფერება:



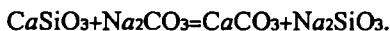
კომპლექსური კათიონი
ლურჯი შეფერილობით

მაშასადამე, Cu^{2+} - კათიონი შესაძლებელია აღმოჩენილი იყოს $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ხსნარის დახმარებით.

ქიმიურ რეაქციებს ძირითადად ატარებენ ორი მეთოდით: "მშრალი" და "სველი" მეთოდით. თუ რეაქციას ატარებენ მყარ ნივთიერებებს შორის, მაშინ მათ მიაკუთვნებენ მშრალს, ხოლო რეაქციებს ხსნარებით უწოდებენ სველ მეთოდს.

თვისებითი ანალიზში ძირითადად იყენებენ ხსნარებს შორის მიმდინარე რეაქციებს ე.ი. სველ მეთოდებს. ამისათვის საანალიზო ნივ-

თიერებებს თავდაპირველად გახსნიან, შემდეგ ატარებენ მის გამოკვლევას. გამხსნელად ძირითადად გამოიყენებენ გამობდილ წყალს. მინერალურ მჟავებს (HCl , HNO_3 , H_2SO_4), ტუტეებს, "სამეფო წყალს". თუ საანალიზო ნივთიერება არ იხსნება ჩამოთვლილ გამხსნელებში, როგორც ჩვეულებრივ პირობებში ან გაცხელების შემთხვევაში, მაშინ მიმართავენ შელღობის რეაქციებს. შელღობის რეაქციებს ატარებენ მუფელის ღუმელებში $800-1000^\circ\text{C}$. საანალიზო ნივთიერებას წვრილად აქუცმაცებენ ფაიფურის სანაყში, ურევენ ერთმანეთს და ათავსებენ ღუმელში. (მაგალითად, $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$ მშრალ ნარევის ათავსებენ ღუმელში) ნივთიერებათა გაღებობის შედეგად პრაქტიკულად უხსნადი მდგომარეობიდან გადადის ხსნად მდგომარეობაში. მაგალითად: კალციუმის სილიკატი CaSiO_3 არ იხსნება წყალში, მჟავებში, ტუტეებში და "სამეფო წყალში". შელღობის შედეგად მიმდინარეობს რეაქცია, რომლის შედეგად წარმოიქმნება მარილი Na_2SiO_3 , რომელიც წყალში ხსნადია:



2.2. ანალიზური რეაქციის ჩატარების მეთოდები

საკვლევი ნივთიერების რაოდენობის, რეაქტივების ხსნარის მოცულობისა და მუშაობის ტექნიკისაგან დამოკიდებულებით, ანალიზის მეთოდები იყოფა: მაკრო, ნახევრადმიკრო, მიკრო, ულტრამიკრო, სუბმიკრო და სუბულტრამიკრო მეთოდებად. ანალიზურ ქიმიაში სასწავლო პრაქტიკაში იყენებენ მიკრო, ნახევრად მიკრო და მიკროანალიზს. ულტრამიკრო, სუბმიკრო და სუბულტრამიკრო ანალიზის ჩასატარებლად აუცილებელია სპეციალური პირობები და შესაბამისი აპარატურა.

მაკრომეთოდით ანალიზის შესასრულებლად საჭიროა ხსნარის რამდენიმე მილილიტრი, რომელიც შეიცავს საკვლევი ნივთიერების

არანაკლებ 0,1 გ-ს. ცალკეული რეაქციების ჩასატარებლად იღებენ საკვლევ ხსნარს. უმატებენ რეაგენტის ხსნარის დაახლოებით 1 მლ-ს. რეაქციებს, ჩვეულებრივ, სინჯარებში ატარებენ. ნალექს ხსნარისაგან გაფილტვრით აცილებენ.

მიკრომეთოდით მუშაობისას საკვლევ ნივთიერებას 100-ჯერ ნაკლები რაოდენობით იღებენ, ვიდრე მაკროანალიზის დროს.

ნახევრადმიკროანალიზისას იყენებენ 0,05-დან 0,1 გრამამდე მყარი ნივთიერების წონით მასას ან ხსნარის მოცულობის 0,5-დან 1 სმ³.

ნახევრადმიკროანალიზის მეთოდის პრინციპულად არ განსხვავდება მაკროანალიზის მეთოდისაგან, მაგრამ აქვს მთელი რიგი უპირატესობები: საკვლევი ნივთიერების უმნიშვნელო მცირე მასასთან მუშაობა იძლევა რეაქტივების ეკონომიას 5-10-ჯერ, მცირდება ანალიზის ჩატარების ხანგრძლივობა, უმჯობესდება სანიტარულ-ჰიგიენური პირობები.

საკვლევი ნივთიერების მასის ან ხსნარის მოცულობასთან დამოკიდებულებით რეაქციებს ატარებენ სინჯარული, წვეთური და მიკროკრისტალური მეთოდებით.

სინჯარული მეთოდი. ანალიზის შესრულების დროს, რეაქციას ატარებენ 2-5 სმ³ მოცულობის მინის სინჯარებში. ნალექის მოსაცილებლად ხსნარისაგან აცილებენ ცენტროფუგირებით. აორთქლებას ატარებენ ტიგლებში.

წვეთური ანალიზი. წვეთური ანალიზი შეიმუშავა ნ. ტანანაევმა 1920წ. ანალიზს აწარმოებენ ფაიფურის ან მინის ფირფიტაზე და ასევე ფილტრის ქაღალდზე დაწვეთებით 1 წვეთი საკვლევი ხსნარისა და 1 წვეთი რეაქტივის. ნალექის წარმოქმნას აკვირდებიან მინის ფირფიტაზე, შეფერილობის წარმოქმნას თეთრ ფირფიტაზე ან ფილტრის ქაღალდის ზოლზე. წვეთოვან ფერად რეაქციებს ხშირად ატარებენ ფილტრის ქაღალდზე. განსაზღვრული იონების აბსორბციული თვისებების გამოყენებით, შესაძლებელია 2-3 იონის აღმოჩენა 2-3 სხვადასხვა შეფერილობის რგოლის ზონების წარმოქმნით.

წვეთური ანალიზი გამოირჩევა მაღალი მგრძნობიარობით, ეკო-

ნომიკურობით და სპეციფიკურობით. წვეთოვანი რეაქციით შეიძლება აღმოჩენილი იქნეს ერთი იონი, სხვა იონების თანაობისას.

მიკროკრისტალური ანალიზი. მეთოდი დაფუძნებულია კომპონენტების აღმოჩენასთან რეაქციების დახმარებით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება დამახასიათებელი ფორმის კრისტალები. წარმოქმნილი კრისტალების დასაკვირვებლად იყენებენ მიკროსკოპს. რეაქციას ატარებენ სასაგნე მინაზე, სადაც ათავსებენ 1 წვეთ საკვლევ ხსნარს და ერთ წვეთ საჭირო რეაქტივს აღმოსაჩენი იონისათვის. მიკროსკოპის გამოყენება საშუალებას იძლევა ანალიზი ჩატარდეს ძალიან მცირე რაოდენობის შემცველ ნივთიერებებზე.

მოცემულ მეთოდურ მითითებებში ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის ანალიზურ ქიმიამში, აღწერილია კათიონებისა და ანიონების ნახევრადმიკროანალიზის მეთოდები. იონების აღმოსაჩენად იყენებენ რეაქციებს, რომლებსაც თან ახლავს რაიმე გარეგნული ცვლილებები, მაგალითად, ნალექის გამოყოფა ან გახსნა, ხსნარის შეფერილობის შეცვლა, აირების გამოყოფა. ამრიგად, აღმოსაჩენი იონი გადაყავთ დამახასიათებელი გარეგნული სახის და თვისებების მქონე ცნობილ ნაერთში. ამ დროს მიმდინარე ქიმიურ რეაქციას ანალიზურ რეაქციას უწოდებენ. ანალიზური რეაქციებისადმი წაყენებული უმნიშვნელოვანესი მოთხოვნებია რეაქციის სპეციფიკური მოცემული რეაქცია. ნივთიერების რაც უფრო ნაკლები რაოდენობა განისაზღვრება მოცემული რეაქტივის მეშვეობით, მით უფრო მგრძნობიარეა ეს რეაქცია.

ანალიზური რეაქციის ჩასატარებლად გარკვეული პირობების დაცვაა საჭირო, რომელთა შორის უმნიშვნელოვანესია მორეაგირე ნივთიერებების ხსნარების საჭირო კონცენტრაციის, რეაქციის ჩატარებისათვის საჭირო გარემოს და ტემპერატურის უზრუნველყოფა.

საკვლევი ნიმუშის სრული თვისებითი ანალიზის დროს გარკვეული თანმიმდევრობის დაცვით ახდენენ ცალკეული სახის იონების აღმოჩენას. ასეთ მეთოდს სისტემური ანალიზი ეწოდება.

სისტემურ ანალიზს ატარებენ საკვლევი ხსნარის ერთი

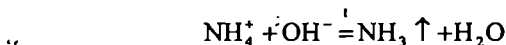
ულუფიდან ჯგუფური რეაქტივების გამოყენებით. ეს რეაქტივები იონების ჯგუფთან საერთო რეაქციას იძლევა. იონების ჯგუფებად დაყოფას გარკვეული თანამიმდევრობით ახორციელებენ: ჯგუფებს ყოფენ ქვეჯგუფებად, ხოლო შემდეგ ერთი ქვეჯგუფის ფარგლებში ხდება ინდივიდუალურ იონებად დაყოფა და მათი განსაზღვრა ყველა იონისათვის ინდივიდუალური რეაქტივების დახმარებით.

ინდივიდუალური იონების ნებისმიერი თანამიმდევრობით აღმომჩენი რეაქტივების გამოყენებაზე დამყარებულ მეთოდს, სისტემური ანალიზის გარკვეული სქემის გარეშე, წილადური ანალიზი ეწოდება. ამ დროს საკვლევ ხსნარს ამუშავებენ ისეთი რეაქტივებით, რომლებიც ხსნარის საძიებელი იონების აღმოჩენისათვის ხელისშემშლელ იონების ზეგავლენას განიცდის. იონების დამახისათებელ რეაქციებს ამ იონის კერძო რეაქციები ეწოდება.

2.3. ანალიზური რეაქციების სპეციფიკურობა და მგრძნობიარობა

რეაქციის სპეციფიკურობა. ცალკეული იონების აღმოსაჩენად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ე.წ. სპეციფიკურ რეაქციებს.

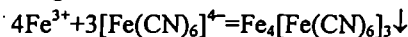
სპეციფიკური რეაქცია მოცემულ იონზე ეწოდება ისეთ რეაქციას, რომელიც საშუალებას იძლევა აღმოაჩინოს ის ცდის პირობებში სხვა იონების არსებობისას. მაგალითად, ამონიუმის კათიონის NH_4^+ აღმოაჩენენ აირადი ამიაკის NH_3 გამოყოფით ტუტის ხსნარით გაცხელებისას:



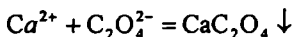
გამოყოფილი NH_3 ადვილად შეიმჩნევა მძაფრი სუნით და სხვა თვისებებით. ყველა არაორგანული ნაერთები, რომლებიც გამოიყენება ქიმიური ანალიზის შესასრულებლად, მხოლოდ ამონიუმის მარილები წარმოქმნიან აირად ამიაკს, ამიტომაც რეაქცია ტუტეებთან გაცხელებისას სპეციფიკურია NH_4^+ ამონიუმის იონისათვის.

რეაქცია Fe^{3+} კათიონისა კალიუმის ჰექსაციანოფერატთან (II)

$K_4[Fe(CN)_6]$ წარმოადგენს სპეციფიკურ რეაქციას, რადგანაც წარმოქმნილი მუქი-ლურჯი ნალექი $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ დამახასიათებელია მხოლოდ Fe^{3+} კათიონისათვის.



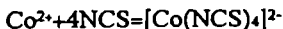
სპეციფიკური რეაქციების რიცხვი ძალიან მცირე რაოდენობითაა ცნობილი, უფრო ხშირად საჭირო ხდება ისეთი რეაქციების ჩატარება, რომლებიც ეფექტს ერთდროულად რამდენიმე იონთან იძლევიან, ხანდახან კი მრავალ იონთან. რეაქციებს, რომლებიც შესაბამის გარეგან ეფექტს იძლევიან მხოლოდ რამდენიმე იონთან, სელექტიურს ან შერჩევითს უწოდებენ. მაგალითად: დამახასიათებელ რეაქციას Ca^{2+} იონზე წარმოადგენს რეაქცია, რომლის დროსაც წარმოიქმნება კალციუმის ოქსალატის CaC_2O_4 ნალექი, ამონიუმის ოქსალატის $(NH_4)_2C_2O_4$ ხსნარის მოქმედებისას:



ეს რეაქცია არ არის სპეციფიკური მხოლოდ Ca^{2+} - იონისათვის, რადგანაც ამონიუმის ოქსალატთან გარეგნულად და თვისებებით მსგავს ნალექს წარმოქმნიან ისეთი იონები, როგორიცაა: Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} და ა.შ; ამიტომ არ შეიძლება ხსნარის კვლევის დროს, როდესაც Ca^{2+} იონის ამონიუმის ოქსალატით აღმოჩენას შეიძლება ხელი შეუშალოს სხვა იონებმა. თავდაპირველად აუცილებელია ხელის შემშლელი იონების აღმოჩენა, მთლიანად მათი მოცილება და მხოლოდ შემდეგ Ca^{2+} იონის აღმოჩენა $(NH_4)_2C_2O_4$ ამონიუმის ოქსალატით.

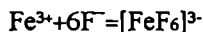
ხელისშემშლელი იონების გავლენა შეიძლება აცილებელი იყოს არამარტო მათი მოცილებით, არამედ მათი შენიღბვითაც.

მაგალითად: Co^{2+} კობალტის იონს აღმოაჩენენ საკვლევ ხსნარზე ამონიუმის თიოციანატის დამატებით, როდესაც წარმოიქმნება ლურჯი შეფერილობა:



ამ რეაქციას ხელს უშლის Fe^{3+} იონები, რომლებიც არსებობენ საკვლევ ხსნარში, რის შედეგად $[Fe(NCS)_3]$ წარმოიქმნება წითლად

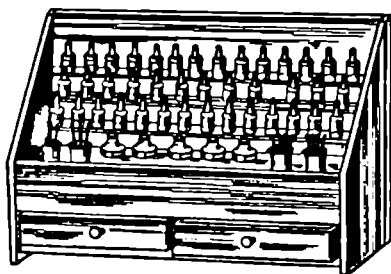
შეფერილი. ლურჯი შეფერილობა, რომელსაც იწვევს ამონიუმის თი-
ოციანატი, იქნება შეუმჩნეველი. Fe^{3+} -იონის შენიღბვისათვის საკ-
ვლევ ხსნარს უმატებენ, მაგალითად ნატრიუმის ფტორიდს NaF ,
რომელიც Fe^{3+} -იონთან წარმოქმნის მდგრად უფერო კომპლექსურ
ანიონს $[\text{FeF}_6]^{3-}$, რომელიც აღარ შეუშლის Co^{2+} იონის აღმოჩენას:



რეაქციის მგრძნობიარობა. ანალიზურ ქიმიკაში იყენებენ რეაქცი-
ებს, რომელიც ფლობს საკმარის მგრძნობიარობას. რეაქციის მგრძნო-
ბიარობას ახასიათებს მინიმალური (ზღვრული) კონცენტრაციის აღ-
მოჩენა ზღვრულ განზავების დროს. ანალიზური რეაქცია მით
უფრო მგრძნობიარეა, რაც უფრო მცირეა აღმოსაჩენი მინიმუმი და
რაც უფრო დიდია ზღვრული განზავება. რეაქციის მგრძნობიარობა
გაიზრდება პირველ რიგში, საკვლევ ხსნარში აღმოსაჩენი იონის
კონცენტრაციის გაზრდით. ამისათვის ძლიერ განზავებულ ხსნა-
რებს თავდაპირველად აორთქლებენ წყლის აბაზანაზე, სანამ აღმოა-
ჩენენ მოცემულ იონს. რეაქციის მგრძნობიარობა ასევეა დამოკიდე-
ბული ტემპერატურაზე, ხსნარის არეზე (როგორი გარემოა მჟავე, ნე-
იტრალური თუ ტუტე) და საკვლევი ხსნარში სხვა კომპონენტების
თანაარსებობაზე.

2.4. თვისებითი ნახევრადმიკროანალიზის ლაბორატორიული მოწყობილობა

თვისებით ქიმიურ ნახევრად-
მიკროანალიზში იყენებენ, სპეცი-
ალურ ჭურჭელს და მოწყობილო-
ბას. სასწავლო ლაბორატორიაში
ამ მიზანს შეიძლება მოემსახუროს
გადასატანი კომპლექტი, რომლი-
თაც სარგებლობენ სტუდენტები.



ნახ.1. შტატივი რეაქტივებით

კომპლექტში შედის დიდი შტატივი რეაქტივებით, პატარა შტატივი კონცენტრირებული მჟავებისა და ტუტეებისათვის, ორი შტატივი საცენტრიფუგო სინჯარებისათვის, ორი შტატივი პატარა სინჯარებისათვის, წყლის აბაზანა, ჩამრეცხი კოლბები, ქიმიური ჭიქები (50 მლ-ის ტევადობით), სპირტქურა, საცენტრიფუგო სინჯარები, პატარა სინჯარები, კაპილარული პიპეტები, მინის წკირები, მინის შპატელი, ფაიფური ჯამები ან მცირე ზომის ტიგელები, სინჯარების ხის დამჭერები და ელექტროცენტროფუგა (ან ხელის ცენტროფუგა).

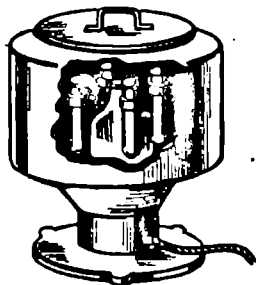
ნახევრადმიკროანალიზის ტექნიკა შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება: საკვლევი ხსნარის გაცხელება, იონების დალექვა, დალექვის სისრულეზე შემოწმება, ცენტროფუგირება, ცენტროფუგატის (ნალექის ზემოთ ხსნარის) სხვა სინჯარაში გადატანა, ნალექის ჩარეცხვა, მისი გახსნა, აორთქლება, მშრალი ნალექის გამოწვა. მოკლედ აღვწერთ თვითოეული მათგანი:

- გაცხელებას ახდენენ წყლის აბაზანაზე, რომელშიც წყალი ზომიერად უნდა დუღდეს. წყლის აბაზანა საშუალებას იძლევა ხსნარი მხოლოდ დუღილის



ნახ.2. საათისა და სასაგნე მინა

ტემპერატურამდე გავაცხელოთ. ხსნარების დუღილი ხდება ელექტროქურაზე აზბესტის ბადეზე მოთავსებულ ქიმიურ ჭიქებში ან ფაიფურის ტიგელებში.

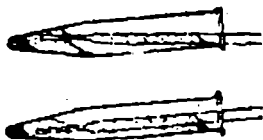


ნახ.3. ცენტრიფუგა

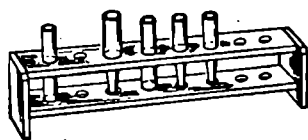
- დალექვას ასრულებენ კონუსურ (საცენტრიფუგო) სინჯარაში, რომელშიც ათავსებენ საკვლევი ხსნარის მცირე რაოდენობას და პიპეტით უმატებენ რეაქტივის წვეთების გარკვეულ რაოდენობას. რეაქტივის ყოველი წვეთის დამატების შემდეგ, სინჯარის შიგთავსს გულდასმით მოურევინ მინის წკირით. სასურველია რეაქტივის მცირე სიჭარბე, ვინაიდან იგი უფრო სრული დალექვის

გარანტიას იძლევა.

- ცენტროფუგირებას იყენებენ ხსნარისაგან ნალექის დასაცილებლად. ვიწყებთ ცენტროფუგას ბრუნვით მოძრაობას, 1,0-1,5 წუთს, შემდეგ ვაჩერებთ და ვიცდით ცენტროფუგის თავისით გაჩერებამდე.



ნახ.4. სინჯარები

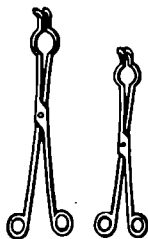


ა)



ბ)

ნახ.5. შტატივი სინჯარებით (ა) და სინჯარის დამჭერი (ბ)



ნახ.6. ტიგლის მაშა

უმატებენ ჩამრეცხი სითხის 0,5-1,0 მლ-ს და მინის წკირით მოურევვენ. სინჯარის შიგთავსს აცენტრიფუგირებენ და სითხეს პიპეტით აცილებენ.

- ნალექის გახსნას ახდენენ გამხსნელის წვეთ-წვეთობით დამატე-

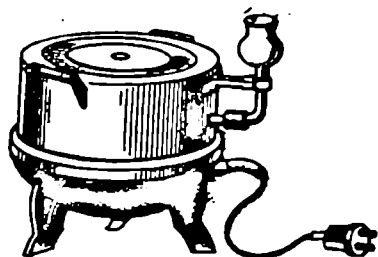
- დალექვის სისრულეზე შემოწმებას ცენტროფუგატის ნალექისაგან გამოყოფამდე ახდენენ. ამისათვის გამჭვირვალე ცენტროფუგატს უმატებენ დამლექავი რეაქტივის კიდევ ერთ წვეთს. თუ ამ დროს ხსნარში სიმღვრივე არ წარმოქ-

მნა, თვლიან, რომ იონების დალექვის სისრულე მიღწეულია. წინააღმდეგ შემთხვევაში, რეაქტივის რამდენიმე წვეთს კიდევ უმატებენ და ცენტროფუგირებას იმეორებენ.

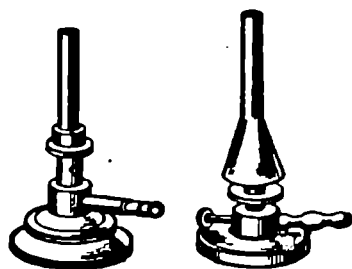
- ხსნარის სხვა სინჯარაში გადატანა ხდება რეზინის ბუშტას (ბუნიკის) მქონე პიპეტით, ხოლო შემდეგ კაპილარული პიპეტით ცდილობენ, რომ ხსნარის გადატანისას მას ნალექი არ გადაყვეს.

- ნალექის ჩარეცხვას აწარმოებენ დისტილირებული წყლით (ზოგჯერ სხვა ჩამრეცხი სითხეებითაც). ცენტროფუგატისაგან განთავისუფლებულ ნალექიან სინჯარაში

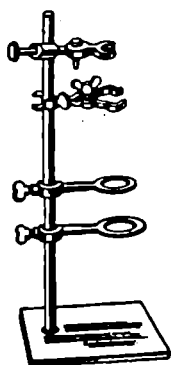
ბით და მინის წკირის მორევით, ახლადგამოლეკილი ნალექი



ნაბ.7. წყლის აბაზანა



ნაბ.8. გაზის სანათური



ნაბ.9. შტატივი

უფრო ადვილად იხსნება, ვიდრე გამოშშრალი.

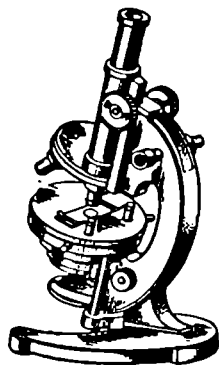
- ხსნარების აორთქლება საჭიროა აღმოსაჩენი იონის კონცენტრაციის გაზრდისათვის. აორთქლებას ფაიფურის ტიგელში ან ჯამში ახდენენ, წყლის აბაზანის მეშვეობით.
- გამოწვას აწარმოებენ ამონიუმის მარილებისა და ორგანული ნივთიერებების მოსაცილებლად. ტიგელს ან ჯამს გამოსაწვავად ნალექით ათავსებენ შტატივზე დამაგრებულ ფაიფურის სამკუთხელში და ახურებენ სპირტქურის ან ელექტროქურის მეშვეობით.

ლაბორატორიაში მუშაობა სი-

სუფთავისა და წესრიგის განსაკუთ-

რებულად დაცვას მოითხოვს. ყველა რეაქტივი სუფთად უნდა ინახებოდეს – დაუშვებელია გამოუყენებელი რეაქტივების უკან ჩასხმა (ან ჩაყრა) საერთო სარგებლობის სარეაქტივო შუშაში. შუშიდან მშრალი ნივთიერების ამოღება სპეციალურად ამ რეაქტივისათვის განკუთვნილი შპატელით ხდება. სრულიად დაუშვებელია სხვადასხვა შუშების საცობებისა და პიპეტების ერთმანეთში არევა. სამუშაო მაგიდაზე პიპეტების დადება აკრძალულია. ყოველი საწვეთურის პიპეტი იმავე საწვეთურში უნდა იყოს ჩაშვებული. ინდივიდუალური

სარგებლობის პიპეტები და მინის წკირები სუფთა სინჯარებში ან გამოხდილ წყლიან ჭიქებში უნდა ინახებოდეს. ყოველი გამოყენების შემდეგ პიპეტს რეცხავენ. პიპეტიდან ხსნიან რეზინის ბუმტს, ნიჟარის თავზე დაიჭერენ და განიერ ნახვრეტში მიუშვებენ წყლის ნაკადს. რეზინის ბუმტს დისტილირებული წყლით რეცხავენ.



ნახ. 10. მიკროსკოპი

მუშაობის დროს ხსნარებისა და ნალექების შემცველი ყველა სინჯარა სპეციალური ფანქრით უნდა იყოს წარწერილი, რათა არ მოხდეს მათი ერთმანეთში არევა.

ლაბორატორიაში ყოველი მომუშავე ვალდებულია აწარმოოს ლაბორატორიული ჟურნალი (დღიური). აუცილებელია, ჩანაწერები გაკეთდეს გარკვევით ცდის შესრულებისა და შედეგების მიღებისთანავე. ცალკეულ ფურცლებზე შავი ჩანაწერების გაკეთება შემდგომში მათი ჟურნალში გადატანის მიზნით მიუღებელია. მუშაობის დამთავრების შემდეგ აუცილებელია სამუშაო ადგილის წესრიგში მოყვანა, წყალსადენისა და აირის ონკანების შემოწმება, ელექტრობელსაწყობების გამორთვა.

2.5. კათიონთა სისტემური თვისებითი ანალიზის მეთოდების მიმოხილვა.

ყოველ სისტემურ მეთოდს კათიონების ანალიზურ ჯგუფებად კლასიფიკაციის საკუთარი წესი გააჩნია და იგი ემყარება მოცემული იონების სხვადასხვა ნაერთების ხსნადობას.

თვისებითი ქიმიური ანალიზის კლასიკური სისტემა კათიონების გოგირდწყალბადის საშუალებით დაყოფაზე და აღმოჩენაზეა დაფუძნებული თვისებითი ანალიზის აღნიშნული მეთოდი გამო-

ირჩევა კატიონებისა და მათი ჯგუფების გაყოფის დიდი სიზუსტით და გამოყენებული რეაქციების მაღალი მგრძნობიარობით.

გოგირდწყალბადოვან მეთოდში კატიონები 5 ანალიზურ ჯგუფში არის გაერთიანებული, რომლებსაც ერთმანეთისაგან აცალკევებენ შემდეგი ჯგუფური რეაქტივებით: ქლორწყალბადმჟავით, გოგირდწყალბადით, ამონიუმის სულფიდით და ამონიუმის კარბონატით. ჯგუფური რეაგენტები ჩამოთვლილია იმ თანმიმდევრობით, რომლითაც ემატება ისინი საანალიზო კატიონების ნარევს. ჯგუფურ რეაგენტებად ისეთი რეაქტივი გამოიყენება, რომელიც ერთსა და იმავე პირობებში რეაგირებს მოცემული ჯგუფის ყველა კატიონთან, საშუალებას იძლევა, რომ საკმაოდ მკაფიოდ გამოიყოს მოცემული ჯგუფი და განისაზღვროს მასში შემავალი კატიონები.

კატიონების I ანალიზური ჯგუფი (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+}) მას მიეკუთვნება კატიონები, რომლებსაც არ გააჩნია ამ ჯგუფის ყველა კატიონის ერთდროულად დალექვის უნარის მქონე ჯგუფური რეაგენტი.

II ანალიზური ჯგუფი (Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+}). მას მიეკუთვნება კატიონები, რომლებიც NH_3 და NH_4Cl წყალხსნარების თანაობისას ილექება ჯგუფური რეაქტივით $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, წყალში უხსნადი კარბონატების წამროქმნის გამო.

II ჯგუფის კატიონები, III, IV და V ჯგუფის კატიონებისაგან განსხვავებით, არ ილექება სულფიდების სახით ამონიუმის სულფიდის ან გოგირდწყალბადის მოქმედების შედეგად.

III ანალიზური ჯგუფი (Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}), მას მიეკუთვნება კატიონები, რომლებიც NH_3 და NH_4Cl წყალხსნარების თანაობისას ილექება ჯგუფური რეაქტივით $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ წყალში უხსნადი სულფიდებისა და ჰიდროქსიდების სახით.

III ჯგუფის კატიონები, IV და V ჯგუფის კატიონებისაგან განსხვავებით, არ ილექება მარილმჟავა ხსნარებიდან სულფიდების სახით გოგირდწყალბადის მოქმედების შედეგად.

IV ანალიზური ჯგუფი (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Bi^{3+} , Hg^{2+} , As^{3+} , As^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} ,

Sb³⁺, Sb⁵⁺). მას მიეკუთვნება კатиონები, რომლებიც მჟავე ხსნარებიდან ილექება ჯგუფური რეაქტივით H₂S სულფიდებისა და გოგირდოვანი ნაერთების სახით.

ეს ჯგუფი იყოფა ორ ქვეჯგუფად: პირველი შეიცავს Cu²⁺, Cd²⁺, Bi³⁺, Hg²⁺-ს, რომელთა სულფიდები ამონიუმის პოლისულფიდში – (NH₄)₂S_x უხსნადია. მეორე ქვეჯგუფი შეიცავს As³⁺, As⁵⁺, Sb³⁺, Sb⁵⁺, Sn²⁺, Sn⁴⁺, რომელთა გოგირდოვანი ნაერთები ამონიუმის პოლისულფიდში იხსნება.

V ანალიზური ჯგუფი (Ag⁺, Pb²⁺, [Hg₂]²⁺). მას მიეკუთვნება კатиონები, რომლებიც ჯგუფური რეაქტივით ქლორწყალბადმჟავით ილექება უხსნადი ქლორიდების სახით.

ამრიგად, ხსნარში კатиონების რთულ ნარევეზე გოგირდწყალბადის მოქმედებისას არ ხდება პირველი ორი ჯგუფის კатиონების სულფიდების სახით გამოყოფა, მაშინ, როცა დანარჩენი ჯგუფების კათიონების სულფიდები და გოგირდოვანი ნაერთები შეიძლება გარკვეული თანამიმდევრობით გამოვყოთ ნალექში. სწორედ ამაზეა აგებული გოგირდწყალბადოვან მეთოდში კатиონების ანალიზური კლასიფიკაცია. გოგირდწყალბადოვან მეთოდს არსებითი ნაკლი გააჩნია. მისი მუშევრით ზოგიერთი კატიონის (Cd²⁺, Zn²⁺, Sn²⁺, Sn⁴⁺, Pb²⁺ და ა.შ.). მკვეთრად გამოყოფა შეუძლებელია. ზოგიერთი სულფიდი ადვილად იჟანგება სულფატებამდე, რაც იწვევს კალციუმის, სტრონციუმის და ბარიუმის სულფატების ნალექის სახით გამოყოფას და ანალიზის სისტემურ მსვლელობაში მათ დაკარგვას გოგირდწყალბადის მნიშვნელოვანი ტოქსიკურობის გამო ანალიზი მხოლოდ სპეციალურ ლაბორატორიაში, შესაბამის მოწყობილობებზე უნდა ჩატარდეს. ზემოთ აღნიშნული ნაკლის თავიდან ასაცილებლად ქიმიკოს-ანალიტიკოსებმა დიდი შრომა გასწირეს თვისებითი ანალიზის ახალი მეთოდების შესამუშავებლად, რომლებშიც გოგირდწყალბადის გამოყენება გამორიცხული ან შეზღუდული იქნებოდა.

ამჟამად, ცნობილია ანალიზის შემდეგი უგოგირდწყალბადო მე-

თოდები: ამიაკურ-ფოსფატური, მჟავურ-ტუტოვანი, სულფიდურ-ტუტოვანი, თიოაცეტამიდური და სხვა.

ამიაკურ-ფოსფატური მეთოდი დამყარებულია წყალში, სუსტ და ძლიერ მჟავებში, ტუტეებსა და ამიაკის წყალხსნარებში ფოსფატების განსხვავებული ხსნადობის გამოყენებაზე. წყალში იხსნება მხოლოდ ტუტე ლითონებისა და ამონიუმის ფოსფატები, ხოლო ყველა დანარჩენი ფოსფატი წყალში უხსნადია. ამიაკის კონცენტრირებულ ხსნარში იხსნება Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Ag^{+} -ის ფოსფატები. გახსნის შედეგად წარმოიქმნება კომპლექსური იონები. მაგალითად: $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ და სხვა.

ამიაკის წყალხსნარში არ იხსნება შემდეგი იონების: Bi^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} , Pb^{2+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$ -ის ფოსფატები და უფრო რთული ფოსფატური ნაერთები.

ძმარმჟავაში იხსნება ყველა ფოსფატი, გარდა Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Bi^{3+} -ის ფოსფატებისა, რომლებიც ხსნარში გადაყავთ მინერალური მჟავების დახმარებით.

ამიაკურ-ფოსფატური მეთოდით კატიონები იყოფა ხუთ ანალიზურ ჯგუფად:

I ანალიზური ჯგუფი (Na^{+} , K^{+} , NH_4^{+}). ამ ჯგუფის კატიონების ფოსფატები წყალში ხსნადია. ამ ჯგუფს საერთო ჯგუფური რეაქტივი არ გააჩნია.

II ანალიზური ჯგუფი (Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Bi^{3+}). ამ ჯგუფის ნატრიუმის ან ამონიუმის ფოსფატების მოქმედების შედეგად, ამიაკის კონცენტრირებული ხსნარის თანაობისას გამოილექება მცირედხსნადი ფოსფატების სახით. ნატრიუმის ფოსფატი ამ ჯგუფის კატიონების ჯგუფური რეაქტივია.

II ანალიზური ჯგუფის კატიონები ორ ქვეჯგუფად იყოფა: Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} -ის იონები, რომელთა ფოსფატები კარგად იხსნება ძმარმჟავაში და Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Bi^{3+} -ის იონები, რომელთა ფოსფატები ძმარმჟავაში არ იხსნება.

III ანალიზური ჯგუფი (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}). ეს ჯგუფი

შეიცავს კატიონებს, რომელთა ფოსფატები იხსნება ამიაკის წყალხსნარში ამიაკატების წარმოქმნით.

IV ანალიზური ჯგუფი (Sn^{2+} , Sn^{4+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} , As^{3+} , As^{5+}). იგი შეიცავს კატიონებს, რომლებიც აზოტმჟავასთან გაცხელებისას წარმოქმნის უხსნად ნაერთებს.

V ანალიზური ჯგუფი (Ag^+ , $[\text{Hg}_2]^{2+}$, Pb^{2+}). იგი შეიცავს კატიონებს, რომლებიც ქლორწყალბადმჟავას მოქმედების შედეგად ილექება.

ანალიზის მჟავურ-ტუტოვანი მეთოდით კატიონები ექვს ანალიზურ ჯგუფად იყოფა:

1. ქლორიდური ჯგუფი (Ag^+ , Pb^{2+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$). ჯგუფური რეაქტივი – ქლორწყალბადმჟავა, ამ ჯგუფის კატიონებს მცირედხსნადი ქლორიდების სახით გამოილექავს.
2. სულფატური ჯგუფი (Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+}). ჯგუფური რეაქტივი – გოგირდმჟავა, ამ ჯგუფის კატიონებს წყალში მცირედხსნადი სულფატების სახით გამოილექავს.
3. ამფოლიტური ჯგუფი (Al^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , As^{3+} , As^{5+}). ამ ჯგუფის რეაქტივია მწვავე ტუტე, რომლის სიჭარბისას წარმოიქმნება ალუმინატის ტიპის ხსნადი ნაერთები.
4. ჰიდროქსიდური ჯგუფი (Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} , Sb^{5+}). ჯგუფური რეაქტივია ამიაკის წყალხსნარი, ამ ჯგუფის კატიონები უხსნადი ჰიდროქსიდების სახით გამოილექება.
5. ამიაკური ჯგუფი (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Hg^{2+}). ჯგუფური რეაქტივია ამიაკის წყალხსნარი, რომლის სიჭარბისას წყალში ხსნადი კომპლექსური ნაერთები – ამიაკატები წარმოიქმნება.
6. ხსნადი ჯგუფი (K^+ , Na^+ , NH_4^+). ჯგუფური რეაქტივი არა აქვს.

ანალიზის სულფიდურ-ტუტოვანი მეთოდი ორ ვარიანტად იყოფა:

1 ვარიანტში ძირითად რეაგენტად იყენებენ ამონიუმის სულფიდს $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. რომელიც ძმარმჟავა გარემოში განზავებულ მჟავებში უხსნად სულფიდებს ლექავს. ე.ი. ამ მეთოდში აირადი გოგირდწყალბადი შეცვლილია სულფიდური გოგირდის შემცველი სხვა

ნაერთით. ისევე როგორც კლასიკურ გოგირდწყალბადოვან მეთოდში, აქაც კატიონების დაყოფისა და აღმოჩენის ძირითადი რეაქციები სულფიდების წარმოქმნას ითვალისწინებს. ამავე დროს, მეთოდი თავისუფალი ზოგიერთი იმ სიმნელისაგან, რომელიც დაკავშირებულია გოგირდწყალბადის გამოყენებასთან.

კატიონების კლასიფიკაცია ემსგავსება გოგირდწყალბადოვანი მეთოდის კლასიფიკაციას:

1. Ag^+ , $[\text{Hg}_2]^{2+}$, Pb^{2+} - ჯგუფური რეაქტივია ქლორწყალბადმჟავა.
2. As^{3+} , As^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} . ჯგუფური რეაქტივით $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ძმარმჟავა გარემოში ილექება სულფიდებისა და სხვა გოგირდოვანი ნაერთების სახით. კატიონების ჰიდროქსიდები თვისებების მიხედვით ორ ჯგუფად იყოფა:
 - ა) Hg^{2+} , Bi^{3+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} - იონები, რომელთა ჰიდროქსიდები ტუტის სიჭარბეში უხსნადია.
 - ბ) As^{3+} , As^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} , Zn^{2+} - იონები, რომელთა ჰიდროქსიდები ტუტის სიჭარბეში წარმოქმნის ZnO_2^{2-} ტიპის ხსნად ნაერთებს.
3. Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} . საერთო ჯგუფური რეაქტივია გოგირდმჟავა. ამ ჯგუფის კატიონები მე-2 ანალიზური ჯგუფის კატიონებისაგან განსხვავებით ამონიუმის სულფიდით არ ილექება.
4. Mn^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} . საერთო ჯგუფური რეაქტივის $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ -ის მოქმედებით ამ ჯგუფის კატიონები ილექება ფოსფატების სახით.
5. K^+ , Na^+ , NH_4^+ . ამ ჯგუფის კატიონებს საერთო ჯგუფური რეაქტივი არ გააჩნია.

ანალიზის სულფიდურ-ტუტოვანი მეთოდის II ვარიანტს საფუძვლად უდევს კატიონების ქლორიდების, სულფატებისა და ჰიდროქსიდების მცირე ხსნადობა წყალში.

ამ ვარიანტის მიხედვით ყველა კატიონი ხუთ ანალიზურ ჯგუფად იყოფა:

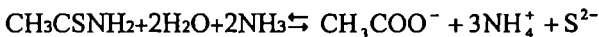
1. Ag^+ , $[\text{Hg}_2]^{2+}$, Pb^{2+} . ამ ჯგუფის კატიონები ქლორწყალბადმჟავით

ილექება წყალში უხსნადი ქლორიდის სახით.

2. Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} . ეს კატიონები სპირტის თანაობისას ილექება გოგირდმჟავით, წყალში მცირედხსნადი სულფატების სახით.
3. As^{3+} , As^{5+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} . ამ ჯგუფის კატიონები, წყალბადის პეროქსიდის თანაობისას ჭარბი NaOH -ის მოქმედებით, წარმოქმნის წყალში ხსნად ანიონებს AsO_4^{3-} , SbO_3^{3-} , SnO_3^{2-} , ZnO_2^{2-} , AlO_2^- , CrO_4^{2-} .
4. Hg^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Bi^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} . ეს კატიონები საერთო რეაქტივით $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$ ილექება წყალში მცირედხსნადი ჰიდროქსიდების სახით. იგი იყოფა ორ ქვეჯგუფად:
 - I. Hg^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Bi^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} – იონები, რომელთა სულფიდები უხსნადია ძმარმჟავაში.
 - II. Mn^{2+} , Mg^{2+} – იონები, რომელთა სულფიდები ხსნადია ძმარმჟავაში.
5. K^+ , Na^+ , NH_4^+ . ამ ჯგუფის კატიონებს საერთო ჯგუფური რეაგენტი არა აქვს.

თიოაცეტამიდურ ანალიზურ მეთოდში ჯგუფურ რეაგენტად გოგირწყალბადისა და ამონიუმის სულფიდის ნაცვლად იყენებენ თიოაცეტამიდს CN_3CSNH_2 , რომელიც წყალში ჰიდროლიზის რეაქციის შედეგად წარმოქმნის გოგირდწყალბადს, ხოლო ამიაკურ გარემოში ამონიუმის სულფიდს.

ეს პროცესები შემდეგი განტოლებებით გამოისახება:



კატიონების ჯგუფების დასაყოფად თანმიმდევრულად გამოიყენება ქლორწყალბადმჟავა, თიოაცეტამიდი (pH -ის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს) და ამონიუმის კარბონატი. ამ მეთოდით კატიონების კლასიფიკაცია ანალოგიურია გოგირდწყალბადოვანი მეთოდისა და იგი ეფუძნება კატიონების ქლორიდების სულფიდებისა და კარბონატების წყალში მცირე ხსნადობას.

კატიონები იყოფა 5 ანალიზურ ჯგუფად:

1. Ag^+ , $[\text{Hg}_2]^{2+}$, pb^{2+} . ამ ჯგუფის კატიონები ილექება ქლორწყალბად-
მჟავით.
2. Hg_2^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Bi^{3+} , As^{3+} , As^{5+} , Sb^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} . ეს კატიონები მჟავე
გარემოში ($\text{pH}=3$) საერთო ჯგუფური რეაქტივის თიოაცეტამიდის
საშუალებით ილექება სულფიდების ან გოგირდოვანი ნაერთების
სახით.

კატიონები იყოფა ორ ქვეჯგუფად:

- I. Sn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Bi^{3+} - რომელთა სულფიდები ტუტეებში
უხსნადია.
- II. Hg_2^{2+} , As^{3+} , As^{5+} , Sb^{5+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} . იონები, რომელთა გოგირდოვანი
ნაერთები იხსნება ტუტეებში თიომარილების წარმოქმნით.
3. Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} . ამ ჯგუფის კატიონები ტუ-
ტე გარემოში ($\text{pH}>7$) საერთო ჯგუფური რეაქტივის თიოაცეტამი-
დის მოქმედებით ილექება სულფიდებისა და ჰიდროქსიდების
სახით.
4. Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} . კატიონები ილექება ამონიუმის კარბონატით წყალ-
ში მცირედ ხსნადი კარბონატების სახით.
5. K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} . ამ ჯგუფის კატიონებს საერთო ჯგუფური რეაქ-
ტივი არა აქვს.

თვისებითი ანალიზის თანამედროვე მეთოდებს შორის აღსანიშ-
ნავია ფტალმჟავა მეთოდი, რომელშიც ძირითად ჯგუფურ რეაქტი-
ვად გამოიყენება ფტალატ-იონი.

რეაქტივი წარმოადგენს კალიუმის ბიფტალატს - ფტალის ანუ
ბენზოდიკარბონმჟავას $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$ კალიუმის მჟავე მარილს. მეთო-
დის დადებითი მხარეებია: ნალექის სწრაფი კოაგულაცია, ფტალმჟა-
ვას დიდი ბუფერული ტევადობა და სხვა.

ფტალმჟავა მეთოდის მიხედვით, კატიონები ექვს ანალიზურ
ჯგუფად იყოფა:

1. Ag^+ , $[\text{Hg}_2]^{2+}$, pb^{2+} - იონები, რომელთა ჯგუფური რეაქტივია ქლორ-
წყალბადმჟავა HCl .

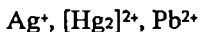
2. Sn^{2+} , Sn^{4+} , Sb^{3+} , Bi^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} – იონები, რომელთა ჯგუფური რეაქტივის კალიუმის ბიფტალატი და ნატრიუმის ტუტე.
3. Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} – იონები, რომელთა ჯგუფური რეაქტივია ნატრიუმის ფტორიდი NaF .
4. Mn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} – იონები, რომელთა ჯგუფური რეაქტივია ნატრიუმის ტუტე NaOH .
5. As^{3+} , As^{5+} , Zn^{2+} , Sn^{2+} – იონები, რომელთა ჯგუფური რეაქტივია ამონიუმის ჰიდროქსიდი NH_4OH .
6. Na^+ , K^+ , NH_4^+ – იონები, რომლებსაც ჯგუფური რეაქტივი არა აქვს.

2.6. კატიონთა კერძო რეაქციები

თვისებითი ანალიზის ჩატარების ყოველი სქემა იონების ჯგუფებად დაყოფისა და იონების ცალ-ცალკე დაყოფის შემდეგ ითვალისწინებს კერძო რეაქციების ჩატარებას, რომლებიც ამა თუ იმ კატიონის ცალსახად იდენტიფიცირების საშუალებას იძლევა.

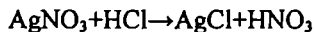
ქვემოთ მოყვანილი კერძო რეაქციები შერჩეული და აპრობირებულია ანალიზური ქიმიის სწავლების მრავალი წლის განმავლობაში. მათ შორის ყველაზე უფრო დამახასიათებელი, სპეციფიკური და ეფექტური რეაქციები გამოიყენება კატიონთა წილადური და სისტემური ანალიზების დროს.

2.6.1. კატიონების პირველი ანალიზური ჯგუფი

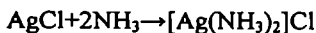


კერძო რეაქციები ვერცხლის კატიონზე Ag^+ .

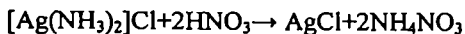
1. ქლორწყალბადმჟავა HCl და ხსნადი ქლორიდები ვერცხლის მარილის ნეიტრალური და მჟავა ხსნარებიდან გამოყოფს ვერცხლის ქლორიდს თეთრი ხაჭოსებრი ნალექის სახით:



ნალექი ადვილად იხსნება ჭარბ NH_3 -ში კომპლექსური მარილის წარმოქმნით:

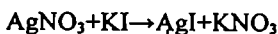


ამიაკური ხსნარის კონცენტრირებული HNO_3 -ით შემჯავებისას ეს მარილი იშლება და კვლავ გამოიყოფა AgCl -ის ნალექი:



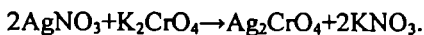
ეს რეაქცია, ჩვეულებრივ, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში, გამოიყენება Ag^+ -იონის აღმოსაჩენად.

2. კალიუმის იოდიდი KI ვერცხლის იონთან წარმოქმნის ღია ყვითელი ფერის ნალექს AgI :



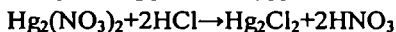
ვერცხლის იოდიდი, ქლორიდისაგან განსხვავებით, ამიაკის ხსნარში არ იხსნება.

3. კალიუმის ქრომატი K_2CrO_4 ვერცხლის მარილების ხსნარებიდან ლექავს აგურისფერ-წითელი ფერის ვერცხლის ქრომატს:

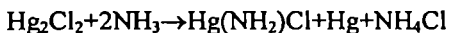


კერძო რეაქციები ვერცხლისწყლის კატიონზე $[\text{Hg}_2]^{2+}$

1. ქლორწყალბადმჟავა და ხსნადი ქლორიდები ვერცხლისწყლის (I) მარილების ხსნარებიდან გამოლექავს ვერცხლისწყლის ქლორიდის – კალომელის თეთრი ფერის ნალექს:

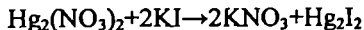


NH_3 -ის წყალხსნარი ნალექს შავად ღებავს ვერცხლისწყლის წვრილად დანაწევრებული ნაწილაკების წარმოქმნის გამო:



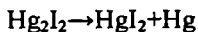
ამ რეაქციას $[\text{Hg}_2]^{2+}$ - იონის აღმოსაჩენად იყენებენ, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

2. კალიუმის იოდიდი ვერცხლისწყლის (I) მარილების ხსნარებიდან ლექავს ვერცხლისწყლის იოდიდის მომწვანო ნალექს:

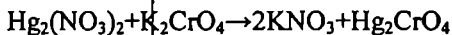


ნალექი შედარებით ადვილად იშლება ვერცხლისწყლის (II) იო-

დიდად და ლითონურ ვერცხლისწყლად. ამ დროს ნალექის ფერი იცვლება:



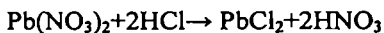
3. კალიუმის ქრომატი ვერცხლისწყლის (I) მარილებთან გაცხელებისას მურა-წითელი ფერის ნალექს Hg_2CrO_4 წარმოქმნის:



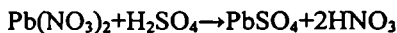
ნალექი არ იხსნება ტუტეებსა და განზავებულ მმარმჟავაში.

კერძო რეაქციები ტყვიის კატიონზე Pb^{2+}

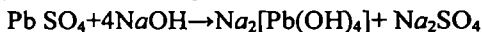
1. ქლორწყალბადმჟავა და ხსნადი ქლორიდები ტყვიის მარილები ხსნარებიდან გამოლექავს ტყვიის ქლორიდის ამორფულ ნალექს რომელიც ადვილად იხსნება ცხელ წყალში:



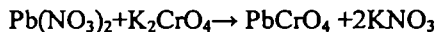
2. გოგირდმჟავა H_2SO_4 და ხსნადი სულფატები ტყვიის მარილების წყალხსნარებიდან გამოყოფს ძნელად ხსნად ტყვიის სულფატს თეთრი ფერის ნალექის სახით:



ნალექი გაცხელებით იხსნება ტუტეებში:

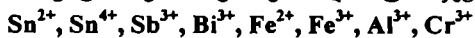


3. კალიუმის ან ნატრიუმის ქრომატი ტყვიის მარილების ხსნარებიდან გამოყოფს ტყვიის ქრომატს ყვითელი ნალექის სახით:



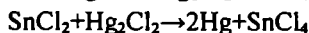
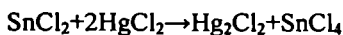
სრული დალექვისათვის ხსნარში შეაქვთ ნატრიუმის ან ამონიუმის აცეტატი. ნალექი არ იხსნება CH_3COOH -ში, მაგრამ იხსნება HNO_3 -სა და ტუტეებში. ამ რეაქციას იყენებენ Pb^{2+} -იონის აღმოსაჩენად, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

2.6.2. კატიონების მეორე ანალიზური ჯგუფი



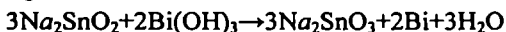
კერძო რეაქციები კალას (II) და კალას (IV) კატიონებზე
 Sn^{2+} და Sn^{4+}

1. ვერცხლისწყლის (II) ქლორიდი-სულემა HgCl_2 კალას (II) ნაერთებთან წარმოქმნის კალომელის Hg_2Cl_2 თეთრი ფერის ნალექს Hg_2^{2+} -იონებით Sn^{2+} - იონების Sn^{4+} - იონებამდე დაჟანგვის შედეგად ნალექი სწრაფად მუქდება ლითონური ვერცხლისწყლის გამოყოფის გამო:



ამ რეაქციას იყენებენ კალას იონის აღმოსაჩენად, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

2. ბისმუტის ხსნადი მარილები ტუტე გარემოში ჟანგავს სტანიტებს SnO_2^{2-} სტანატებამდე SnO_3^{2-} თავისუფალი ბისმუტის შავი ფერის ნალექის წარმოქმნით:



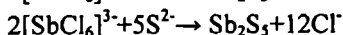
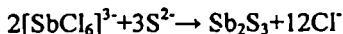
სტანიტის ხსნარის მისაღებად SnCl_2 -ის ხსნარს წვეთ-წვეთობით უმატებენ NaOH -ის ხსნარს. თავდაპირველად წარმოიქმნება $\text{Sn}(\text{OH})_2$ ნალექის სახით, ხოლო შემდეგ ხდება მისი გახსნა.

3. ლითონური რკინა Sn^{4+} -ს აღადგენს Sn^{2+} -მდე.



კერძო რეაქციები სტიბიუმის კატიონზე Sb^{3+}

1. გოგირდწყალბადი H_2S სუსტი მარილმჟავა ხსნარებიდან ლექავს Sb^{3+} და Sb^{5+} იონებს Sb_2S_3 და Sb_2S_5 -ის ნარინჯისფერი ნალექების სახით:

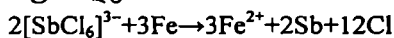


მიღებული სულფიდები ადვილად იხსნება კონცენტრირებულ ქლორწყალბადმჟავაში, აგრეთვე ტუტე ლითონებისა და ამონიუმის

სულფიდებისა და პოლისულფიდების ხსნარში დარიშხანის სულფიდებისაგან განსხვავებით არ იხსნება ამონიუმის კარბონატის ხსნარში.

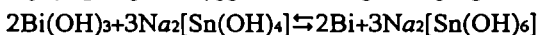
გოგირდწყალბადთან ურთიერთქმედების რეაქცია გამოიყენება სტიბიუმის იონების აღმოსაჩენად სისტემურ ანალიზში.

2. მეთილის იისფერი სტიბიუმის იონებთან წარმოქმნის წყალში მგირედ ხსნადი ნაერთის იისფერ სუსპენზიას. ამ რეაქციას იყენებენ წილადურ ანალიზში სტიბიუმის იონების აღმოსაჩენად.
3. მაგნიუმში, რკინა და სხვა ლითონები, რომელთა ნორმალური ჟანგვითი პოტენციალი Sb^{3+}/Sb პოტენციალზე ნაკლებია, მჟავა გარემოში სტიბიუმის ნაერთებს აღადგენს შავი ფიფქების სახის მქონე ლითონურ სტიბიუმამდე:



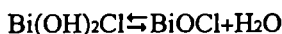
კერძო რეაქციები ბისმუტის კატიონზე Bi^{3+}

1. ნატრიუმის ან კალიუმის სტანიტები $Na_2[Sn(OH)_4]$ ან $K_2[Sn(OH)_4]$, რომლებიც მიიღება $SnCl_2$ და $NaOH$ -ის ან KOH -ის ურთიერთქმედებით. ტუტე გარემოში Bi^{3+} -იონებს აღადგენს ლითონურ ბისმუტამდე, რომელიც შავი ნალექის სახით გამოიყოფა:



ამ რეაქციას იყენებენ ბისმუტის იონების აღმოსაჩენად, როგორც წილადური, ასევე სისტემურ ანალიზში.

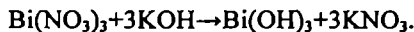
2. ბისმუტის მარილების ჰიდროლიზი. ბისმუტის მარილები ადვილად ჰიდროლიზდება ცვლადი შედგენილობის ფუძე მარილების თეთრი ფერის ამორფული ნალექის წარმოქმნით:



ფუძე მარილების წარმოქმნის რეაქცია შექცევადია, ამიტომ ქლორწყალბადმჟავას დამატებით ნალექი იხსნება.

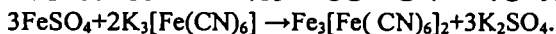
3. ტუტეები KOH , $NaOH$ ბისმუტის მარილების ხსნარებთან წარმოქმნის ბისმუტის ჰიდროქსიდის თეთრი ფერის ნალექს, რომელიც

იხსნება განზავებულ მჟავებში.



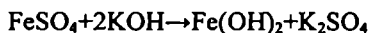
კერძო რეაქციები რკინის (II) კატიონზე Fe^{2+}

1. კალიუმის ჰექსანციანფერატი (III) – სისხლის წითელი მარილი $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ რკინის (II) მარილებთან ურთიერთქმედებისას გამოყოფს მუქი ლურჯი ფერის ნალექს – ტურბულის ლურჯს:

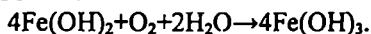


ნალექი პრაქტიკულად უხსნადია მჟავებში, მაგრამ იშლება ტუტეებში. ეს რეაქცია გამოიყენება Fe^{2+} -ის აღმოსაჩენად, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში

2. მწვავე ტუტეები და ამიაკი დალექავს ღია მწვანე ფერის რკინის (II) ჰიდროქსიდს:

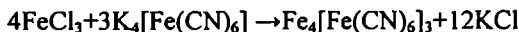


ჰაერზე $\text{Fe}(\text{OH})_2$ -ის სწრაფი დაჟანგვის გამო $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -მდე ნალექი დებულობს მურა შეფერილობას:



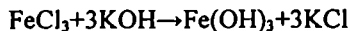
კერძო რეაქციები რკინის (III) კატიონზე

1. კალიუმის ჰექსაციანფერატი (III)-სისხლის ყვითელი მარილი $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ რკინის (III) მარილების ნეიტრალური და ტუტე ხსნარიდან გამოლექავს ინტენსიური ლურჯი ფერის ნალექს – ბერლინის ლაჟვარდს:



მჟავებში ნალექი პრაქტიკულად არ იხსნება, ტუტეები კი შლის. ეს რეაქცია გამოიყენება Fe^{3+} -ის აღმოსაჩენად, როგორც წილადური, ასევე სისტემურ ანალიზში.

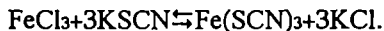
2. მწვავე ტუტეები და ამიაკი ხსნარიდან გამოყოფს რკინის (III) ჰიდროქსიდის მურა ფერის ლაზისებურ ნალექს:



ნალექი იხსნება მჟავებში, მაგრამ არ იხსნება ჭარბ ტუტეში.

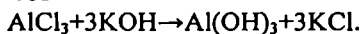
3. კალიუმის როდანიდი KSCN სუსტ მჟავა გარემოში რკინის (III) მა-

რილის ხსნართან იძლევა სისხლისფერ წითელ შეფერილობას:



კერძო რეაქციები ალუმინის კატიონზე Al^{3+}

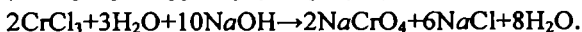
1. ალიზარინის წითელი S ალუმინის ჰიდროქსიდთან წარმოქმნის კაშკაშა წითელი ფერის ნაერთს, ე.წ. «ალუმინის ლაქს». ამ რეაქციის ჩასატარებლად ალუმინის მარილის ხსნარს უმატებენ ამიაკის ხსნარს სუსტ ტუტე გარემომდე, წარმოიქმნება $\text{Al}(\text{OH})_3$. სარეაქციო ნარევეს აცხელებენ და უმატებენ ალიზარინის ხსნარის რამდენიმე წვეთს, $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ის ნალექი იღებს კაშკაშა წითელ ფერს. ამ რეაქციას იყენებენ Al^{3+} -იონის აღმოსაჩენად წილადურ ანალიზში.
2. ალუმინი $\text{Al}(\text{OH})_3$ -თან $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ -ის თანაობისას და NH_4OH და $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ის დამატებით წარმოქმნის წითელი ფერის ფიფქებს ან ხსნარს წითლად აფერადებს. ამ რეაქციას იყენებენ Al^{3+} -იონის აღმოსაჩენად როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.
3. მწვავე ტუტეები ალუმინის მარილებთან წარმოქმნის $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ის თეთრი ფერის ნალექს:



$\text{Al}(\text{OH})_3$ -ის ამფოტერული ბუნების გამო, ნალექი იხსნება როგორც განზავებულ მჟავებში, ასევე ჭარბ ტუტეებში.

კერძო რეაქციები ქრომის კატიონზე Cr^{3+}

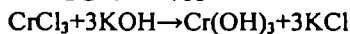
1. წყალბადის ჰეროქსიდი H_2O_2 ტუტის თანაობისას ქანგავს ქრომის იონის Cr^{3+} -ს ქრომატიონამდე- CrO_4^{2-} . ამ დროს ხსნარის მწვანე შეფერილობა კაშკაშა ყვითელში გადადის:



2. ქრომატ-იონების არსებობა დასტურდება ამილის სპირტი ან ქრომის კომპლექსის წარმოქმნით. ხსნარს ამილის სპირტი H_2O_2 -თან ერთად ემატება. მორევის შემდეგ უმატებენ H_2SO_4 -ს მჟავე რეაქციამდე და ხსნარს ანჯღრევენ, ამ დროს სპირტის შრე ლურჯად იფერება. ამ რეაქციას იყენებენ Cr^{3+} -ის აღმოსაჩენად, რო-

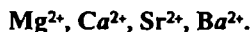
გორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

3. მწვავე ტუტეები ქრომის (III) მარილის ხსნარიდან გამოყოფს რუხი მწვანე ფერის ამორფულ ნალექს:



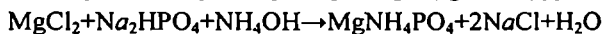
ნალექი იხსნება განზავებულ მჟავებსა და ტუტეებში, რაც Cr(OH)_3 -ის ამფოტერულობაზე მიუთითებს.

2.6.3. კატიონების მესამე ანალიზური ჯგუფი



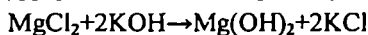
კერძო რეაქციები მაგნიუმის კატიონზე Mg^{2+}

1. ნატრიუმის ჰიდროსულფატი Na_2HPO_4 ამონიუმის ქლორიდის შემცველ ხსნარებში ამიაკის თანაობისას Mg^{2+} -თან წარმოქმნის მაგნიუმამონიუმფოსფატის თეთრ კრისტალურ ნალექს:

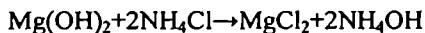


ამ რეაქციას Mg^{2+} -იონის აღმოსაჩენად იყენებენ წილადურ ანალიზში.

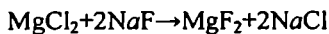
2. ძლიერი ფუძეები ლექავს Mg(OH)_2 -ის თეთრ ლაბისებურ ნალექს:



Mg(OH)_2 -იხსნება ჭარბ ამონიუმის მარილებში:

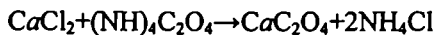


3. ხსნადი ფტორიდები Mg^{2+} -თან წარმოქმნის MgF_2 -ის თეთრი ფერის ნალექს:



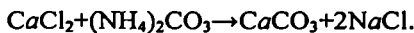
კერძო რეაქციები კალციუმის კატიონზე Ca^{2+} .

1. ალის შეფერვის რეაქცია, კალციუმის მარილები აირის უფერო ალს აგურისფერ-წითელ შეფერილობას აძლევს.
2. ამონიუმის ოქსალატი $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ დაბალ ტემპერატურაზე ნეიტრალურ ან სუსტ ტუტე ხსნარებში Ca^{2+} -იონთან წარმოქმნის კალციუმის ოქსალატის თეთრ წვრილკრისტალურ ნალექს:



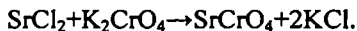
ნალექი უხსნადია CH_3COOH -ში, მაგრამ ადვილად იხსნება მინერალურ მჟავებში. ამ რეაქციას Ca^{2+} -იონის აღმოსაჩენად იყენებენ როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

3. ამონიუმის კარბონატი ლექავს CaCO_3 -ის თეთრ ამორფულ ნალექს, რომელიც დუღილისა და დაყოვნების შემდეგ კრისტალდება:



კერძო რეაქციები სტრონციუმის კატიონზე Sr^{2+}

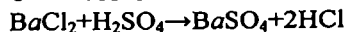
1. ალის შეფერვის რეაქცია, სტრონციუმის მარილები არის უფერო. იღებს ჟოლოსფერ წითელ შეფერილობას.
2. ნატრიუმის როდიზონატი Sr^{2+} -თან წარმოქმნის მურა წითელი ფერის ნალექს. იგი უფერულდება 2N HCl -ის ხსნარით. ეს რეაქცია წილადურ ანალიზში გამოიყენება.
3. კალიუმის ქრომატი სტრონციუმის მარილების კონცენტრირებული და ნეიტრალური ხსნარებიდან გამოყოფს ყვითელი ფერის სტრონციუმის ქრომატის ნალექს:



ეს რეაქცია სისტემურ ანალიზში Sr^{2+} -იონის აღმოსაჩენად გამოიყენება.

კერძო რეაქციები ბარიუმის კატიონზე Ba^{2+} .

1. ალის შეფერვის რეაქცია. ბარიუმის მარილები აირის უფერო ალს მოყვითალო-მომწვანო შეფერილობას აძლევენ.
2. კალიუმის ქრომატი ბარიუმის მარილის ნეიტრალურ ან მმარმჟავა ხსნარებიდან გამოლექავს ყვითელი ფერის ბარიუმის ქრომატს:
3. განზავებული გოგირდმჟავა და ხსნადი სულფატები ბარიუმის მარილებს ძალიან განზავებული ხსნარებიდანაც კი, თეთრი ფერის ბარიუმის სულფატს გამოლექავს:



ნალექი არ იხსნება მჟავასა და ტუტეებში. ეს რეაქცია სისტემურ ანალიზში Ba^{2+} -იონების აღმოსაჩენად გამოიყენება.

2.6.4. კატიონების მეოთხე ანალიზური ჯგუფი

Mn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} .

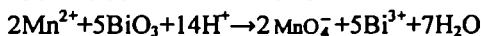
კერძო რეაქციები მანგანუმის კატიონზე Mn^{2+}

1. ტყვიის დიოქსიდი PbO_2 კონცენტრირებული აზოტმჟავას HNO_3 თანაობისას, გაცხელებით Mn^{2+} -ს ჟანგავს MnO_4^- -მდე ჟოლოსფერი მანგანუმჟავას წარმოქმნით:



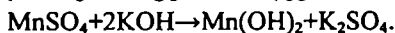
ეს რეაქცია გამოიყენება Mn^{2+} -იონის აღმოსაჩენად, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

2. დაბალ ტემპერატურაზე ნატრიუმის ბისმუტატი $NaBiO_3$ აზოტმჟავა ხსნარში Mn^{2+} ჟანგავს MnO_4^- -მდე და ნალექდება ხსნარი მოიისფრო-ვარდისფერ შეფერილობას ღებულობს:



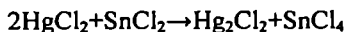
ეს რეაქცია გამოიყენება Mn^{2+} -იონის აღმოსაჩენად, როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

3. მწვავე ტუტეები მანგანუმის (II) მარილებთან წარმოქმნის მანგანუმის ჰიდროქსიდის თეთრი ფერის ნალექს:

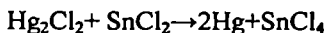


კერძო რეაქციები ვერცხლისწყლის კატიონზე Hg^{2+}

1. კალას (II) ქლორიდი $SnCl_2$ ვერცხლისწყლის (II) მარილებს ალაბგენს თეთრი ფერის უხსნად ვერცხლისწყლის (I) ქლორამდე (კალომელი):

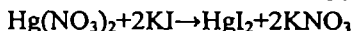


თუ რეაქტივს ავიღებთ ჭარბად ვერცხლისწყალი $[Hg_2]^+$ აღდგება ლითონამდე:

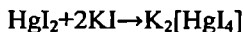


ამ რეაქციას იყენებენ Hg^{2+} -იონის აღმოსაჩენად სისტემურ ანალიზში.

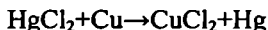
- კალიუმის იოდიდი KI ვერცხლისწყლის (II) მარილებთან წარმოქმნის ვერცხლისწყლის იოდიდის წითელი ფერის ნალექს:



ნალექი ჭარბ რეაქტივში იხსნება უფერო კომპლექსური მარილის წარმოქმნით:



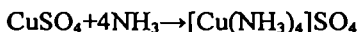
- ძაბვათა მწკრივში, ვერცხლისწყალზე წინ განლაგებული ლითონები ვერცხლისწყლის იონებს აღადგენს ლითონამდე ზუმფარით გახეხილ სპილენძის ფირფიტის ვერცხლისწყლის (II) მარილის ხსნარში ჩაშვებისას, მის ზედაპირზე წარმოიქმნება მოვერცხლისფერო – თეთრი ლაქა:



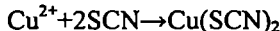
ამ რეაქციას იყენებენ ვერცხლისწყლის (II) იონების აღმოსაჩენად წილადურ ანალიზში.

კერძო რეაქციები სპილენძის კატიონზე Cu^{2+}

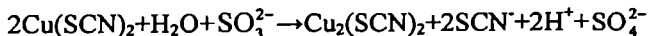
- ჭარბად აღებული ამიაკის წყალხსნარი სპილენძის (II) მარილებთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ლურჯი ფერის კომპლექსურ ნაერთს:



- კალიუმის ან ამონიუმის როდანიდი სპილენძის (II) მარილების კონცენტრირებული ხსნარებიდან გამოყოფს შავ ნალექს. (ძლიერ განზავებულ ხსნარებთან იძლევა მომწვანო-ყვითელ ფერს):



სულფიტ-იონის SO_3^{2-} თანაობისას სპილენძის (II) როდანიდი გარდაიქმნება სპილენძის (I) როდანიდად და ხსნარის შავი შეფერილობა თეთრში გადადის:



ამ რეაქციას Cu^{2+} -ის აღმოსაჩენად იყენებენ სისტემურ ანალიზში.

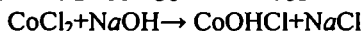
კერძო რეაქციები კობალტის კატიონზე Co^{2+}

1. ამონიუმის ან კალიუმის როდანიდი Co^{2+} -იონთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ლურჯი ფერის კომპლექსს, რომელიც მდგრადია აცეტონის იმეცველ ხსნარში ან ამილის სპირტის ეთერთან ნარეგში:

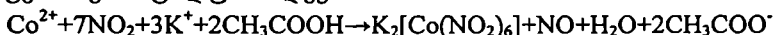


ამ რეაქციას იყენებენ Co^{2+} -იონის აღმოსაჩენად, როგორც წილადურ ასევე სისტემურ ანალიზში.

2. ტუტეები და NH_4OH კობალტის მარილების ხსნარებიდან გამოყოფს ფუძე მარილის ლურჯი ფერის ნალექს:

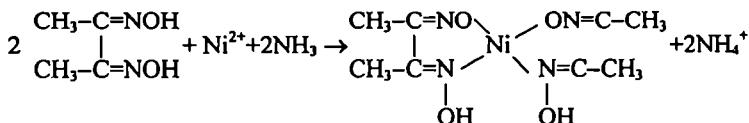


3. კალიუმის ნიტრატი ძმარმჟავა გარემოში, გამოლექავს ყვითელი ფერის კრისტალურ ნალექს:



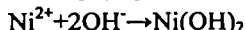
კერძო რეაქციები ნიკელის კატიონზე Ni^{2+}

1. დიმეთილგლიოქსიმის (ჩუგავეის რეაქტივი) $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$ -ის ამიაკური ხსნარი Ni^{2+} -იონთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ალისფერ-წითელ შიგაკომპლექსურ მარილს:

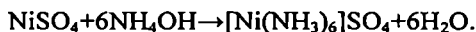


ეს რეაქცია გამოიყენება Ni^{2+} -იონის აღმოსაჩენად როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

2. ტუტეები Ni^{2+} -იონს გამოლექავს ნიკელის ჰიდროქსიდის მწვანე ფერის ნალექის სახით, რომელიც იხსნება მჟავებში:

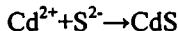


3. ამიაკი NH_4OH ნიკელის სულფატის ხსნარიდან გამოყოფს ფუძე მარილის მწვანე ფერის კომპლექსს $(\text{NiOH})_2\text{SO}_4$. თუ ამიაკს ავიღებთ ჭარბად, წარმოიქმნება კომპლექსი, რომელიც ხსნარს ინტენსიურ ლურჯ ფერს აძლევს:



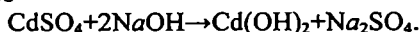
კერძო რეაქციები კადმიუმის კატიონზე Cd^{2+} .

1. გოგირდწყალბადი, გოგირდწყალბადიანი წყალი, ნატრიუმის ან ამონიუმის სულფიდების ხსნარები ნეიტრალური ან სუსტი მჟავე ხსნარებიდან Cd^{2+} -იონს ლექავს ყვითელი ფერის CdS -ის სახით:

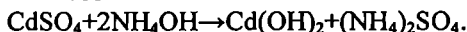


ამ რეაქციას იყენებენ Cd^{2+} -იონის აღმოსაჩენად, როგორც წილა-დურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

2. ტუტეები Cd^{2+} -იონთან წარმოქმნის ჰიდროქსიდის თეთრი ფერის ამორფულ ნალექს:



3. ამიაკის წყალხსნარი Cd^{2+} -იონებთან წარმოქმნის ჰიდროქსიდის თეთრი ფერის ნალექს:



ნალექი იხსნება ჭარბ ამიაკში კომპლექსური ამიაკატის წარმოქმნით:



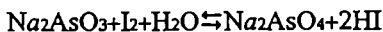
მიღებული კომპლექსური იონი უფეროა.

2.6.5. კატიონების სახით მეხუთე ანალიზური ჯგუფი

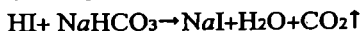


კერძო რეაქციები არსენიტ-იონზე AsO_3^{3-} .

1. იოდირი I_2 წყალი არსენიტებს ჟანგავს არსენატებად, რის შედეგადაც ხდება ყვითელი ფერის იოდის ხსნარის გაუფერულება:

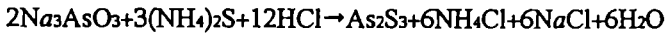


ხსნარს უმატებენ NaHCO_3 -ს H^+ -იონების შესაბოჭად და ამის შედეგად წონასწორობა გადაიხრება მარჯვნივ:



2. ამონიუმის ან ტუტე ლითონების სულფატები არსენიტ-იონთან

მჟავა გარემოში წარმოქმნის დარიშხანის (III) სულფატის კაშკაშა ყვითელი ფერის ნალექს:

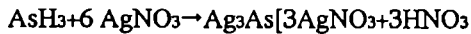


რეაქცია გამოიყენება დარიშხანის იონების აღმოსაჩენად წილა-დურ ანალიზში.

3. ალუმინზე მწვავე ტუტის მოქმედებით მიღებული ატომური წყალბადი As^{3+} და As^{5+} იონებს აღადგენს დარიშხანწყალბადამდე – არსინამდე AsH_3 :



AsH_3 ვერცხლის ნიტრატთან წარმოქმნის ყვითელი ფერის ნაერთს $Ag_3As[3AgNO_3]$:



ეს რეაქცია ასევე მიმდინარეობს $As(V)$ –იონისთვისაც და სისტე-მურ ანალიზში გამოიყენება დარიშხანის იონის აღმოსაჩენად.

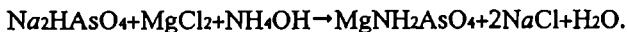
კერძო რეაქციები არსენატ–იონზე AsO_4^{3-} .

1. კალიუმის იოდოდი მჟავა გარემოში არსენატ და ჰიდროარსენატ–იონებით იჟანგება თავისუფალი იოდის გამოყოფით:



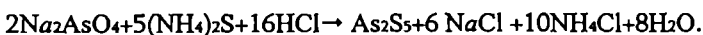
გამოყოფილი იოდი ხსნარს თანდათანობით ყვითლად ფერავს. ქლოროფორმის დამატებისა და ენერგიული შენჯღრევის შემდეგ ქლოროფორმის შრე მიიღებს ჟოლოსფერ–იისფერ შეფერილობას.

2. მაგნეზიალური ნარევი ($MgCl_2 + NH_4Cl + NH_4OH$) არსენატ–იონთან წარმოქმნის მაგნიუმ–ამონიუმის არსენატის თეთრ კრისტალურ ნალექს:



არსენიტ–იონებთან მაგნეზიალური ნარევი ნალექს არ წარმოქმნის.

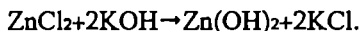
3. ნატრიუმის ან ამონიუმის სულფიდი მარილმჟავა გარემოში არსენატ–იონებთან As_2S_5 -ის ყვითელ ნალექს წარმოქმნის:



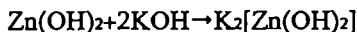
ეს რეაქციები გამოიყენება As^{3+} -იონის აღმოსაჩენად წილადღურ ანალიზში.

კერძო რეაქციები თუთიის კატიონზე Zn^{2+} .

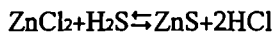
1. მწვავე ტუტეები თუთიის მარილების ხსნარებიდან გამოყოფს თუთიის ჰიდროქსიდის თეთრი ფერის ლაზისებურ ნალექს:



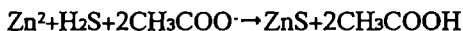
$Zn(OH)_2$ ამორფულია, იგი იხსნება განზავებულ მჟავებში და ჭარბ ტუტეებში:



2. გოგირდწყალბადი Zn^{2+} -იონს ლექავს თეთრი ფერის ZnS -ის სახით:



სრული დალექისათვის ხსნარს უმატებენ CH_3COONa -ს. ე.ი. ძლიერ მჟავას შეცვლიან სუსტით, რომელშიც ZnS არ იხსნება:



ამ რეაქციას იყენებენ Zn^{2+} -იონების აღმოსაჩენად, როგორც წილადღურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

3. დითიზონი $(C_6H_5)_2N_4H_2CS$ ნეიტრალურ, ტუტე და ძმარმჟავა გარემოში. Zn^{2+} -იონებთან წარმოქმნის შიგაკომპლექსურ მარილს-თუთიის დითიზონატს. ეს მარილი იხსნება ოთხქლორიან ნახშირბადში ან ქლოროფორმში და ხსნარი ღებულობს კაშკაშა წითელ ფერს.

2.6.6. კატიონების მეექვსე ანალიზური ჯგუფი

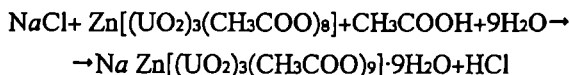


კერძო რეაქციები კატიონზე Na^+ .

1. ალის შეფერვის რეაქცია. ნატრიუმის მარილები აირის უფერო ალს ყვითელ ფერს აძლევს. ეს რეაქცია სისტემურ ანალიზში გა-

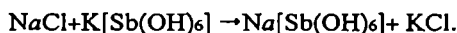
მოიყენება.

2. თუთიაურანილაცეტატი ნატრიუმის მარილების ხსნარებში წარმოქმნის ნატრიუმის თუთიაურანილაცეტატის მოყვითალო კრისტალებს:



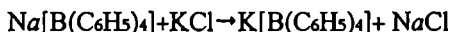
ამ რეაქციას იყენებენ Na^+ -იონების აღმოსაჩენად როგორც წილადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

3. კალიუმის ჰექსაჰიდროსტიბიატი (V) ნატრიუმის მარილებთან ნეიტრალურ ან სუსტ ტუტე გარემოში იძლევა ნელაწარმოქმნად თეთრ კრისტალურ ნალექს.



კერძო რეაქციები კალიუმის კატიონზე K^+ .

1. ალის შეფერვის რეაქცია. კალიუმის მარილები აირის უფერო ალს იისფერ შეფერილობას აძლევს.
2. ნატრიუმის ტეტრაფენილბორატი $\text{Na}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$ K^+ -იონებთან წარმოქმნის თეთრ წვრილ კრისტალურ ნალექს:

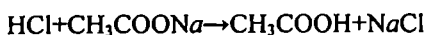


ნალექი მინერალურ მჟავებში უხსნადია. ეს რეაქცია გამოიყენება K^+ -იონის აღმოსაჩენად როგორც წყალბადურ, ასევე სისტემურ ანალიზში.

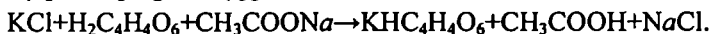
3. ღვინის მჟავას $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ მოქმედებით კალიუმის მარილის კონცენტრირებულ ნეიტრალურ წყალხსნარზე მიიღება კალიუმის ჰიდროტარტრატის თეთრი კრისტალური ნალექი:



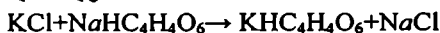
კალიუმის ჰიდროტარტრატი ხსნადია ძლიერ მჟავებში და ტუტეებში, რეაქცია შექცევადია. რეაქცია რომ ნალექის გამოყოფით წავიდეს, საჭიროა წყალბად-იონების შებოჭვა; ამისათვის უმატებენ ნატრიუმის აცეტატს.



კალიუმის ჰიდროტარტრეტი აღარ გაიხსნება ძმარმჟავაში და საბოლოოდ გამოიყოფა ნალექი:



რეაქტივად უმჯობესია ღვინის მჟავას მაგიერ გამოვიყენოთ ნატრიუმის ჰიდროტარტრატის ხსნარი $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$, რადგან ამ შემთხვევაში რეაქციის შედეგად არ მიიღება H^+ -იონები და რეაქცია წავა პრაქტიკულად ბოლომდე:

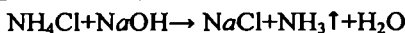


კალიუმის ჰიდროტარტრეტი ცივ წყალში მცირედ იხსნება, ცხელში კარგად. ნალექის გამოყოფის დასაჩქარებლად საჭიროა სინჯარის შენჯღრევა და მის კედლებზე მინის წკირის ხახუნი.

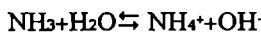
ამ რეაგენტით K^+ -იონის აღმოჩენას ხელს უშლის NH_4^+ -იონის თანობა, ამიტომ NH_4^+ -იონი წინასწარ უნდა იქნეს მოცილებული.

კერძო რეაქციები ამონიუმის კატიონზე NH_4^+

1. ტუტეები ამონიუმის მარილების წყალხსნარიდან გამოყოფს NH_3 .

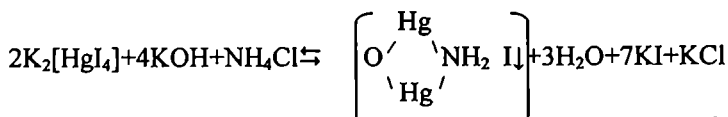


ხსნარის გაცხელების დროს NH_3 აქროლდება, გამოყოფილი NH_3 აღმოჩენა ხდება სველი ლაკმუსის ქაღალდით, რომელიც შეიფერება ლურჯად შემდეგი რეაქციით:



ეს რეაქცია გამოიყენება სისტემურ ანალიზში NH_4^+ -იონის აღმოსაჩენად.

2. ნესლერის რეაქტივი ($\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ -სა და KOH -ის ნარევი) ამონიუმის იონებთან წარმოქმნის მურა-წითელი ფერის ნალექს:



ეს რეაქცია გამოიყენება წილადურ ანალიზში NH_4^+ -იონის აღმოსაჩენად

2.7. კატიონებთან წილადური ანალიზი

ანალიზის ისეთ მეთოდს, რომელიც დამყარებულია გამოსაკვლევი ხსნარის ცალკეულ ულუფებში, საძიებელი იონების აღმოჩენი რეაქციების გამოყენებაზე წილადური ანალიზი ეწოდება.

წილადური ანალიზის მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ამ დროს გამოიყენება ისეთი მაღალმგრძნობიარე რეაქციები, რომლებიც საშუალებას იძლევა ესა თუ ის საძიებელი იონი აღმოჩენილი იქნას ცალკეულ ულუფებში სხვა ანალიზისათვის ხელისშემშლელი იონების თანაობისას. მოცემულ სახელმძღვანელოში კატიონების განლაგების თანამიმდევრობა ანალიზურ ჯგუფებში შეესაბამება ფტალმჟავა მეთოდით სისტემური ანალიზის თანამიმდევრობას.

Ag⁺-იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთს ათავსებენ სინჯარაში უმატებენ HCl-ის ხსნარის 2-3 წვეთს. Ag⁺-იონების არსებობისას წარმოიქმნება თეთრი ფერის AgCl-ის ნალექი. AgCl იხსნება ჭარბ ამიაკში და კვლავ გამოიყოფა ნალექში აზოტმჟავით შემჟავების დროს.

[Hg₂]²⁺-იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 4-5 წვეთს ათავსებენ სინჯარაში, უმატებენ HCl-ის 5-6 წვეთს. ნალექს აცილებენ ცენტრიფუგირებით და ამუშავენ NH₃-ის წყალხსნარით. [Hg₂]²⁺-იონების არსებობისას წარმოიქმნება შავი ფერის ნალექი.

Pb²⁺ იონების აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 2-3მლ. აცხელებენ დუღილამდე. წვეთ-წვეთობით ენერგიული მორევის პირობებში უმატებენ 2NHCl-ის 1 მლ-ს. ნარევს კვლავ აცხელებენ ადუღებამდე. აცივებენ, აცენტრიფუგირებენ და ამოწმებენ სრულ დალექვაზე. ნარევს კიდევ ერთხელ აცენტრიფუგირებენ და აცილებენ ვერცხლის ქვეჯგუფის კატიონების ნალექს, რომელსაც 2-3-ჯერ ჩარეცხავენ ცივი წყლით. ჩარეცხილი ნალექი გადააქვთ ჯამში, უმატებენ 2-3 მილილიტრ წყალს და გულმოდგინედ ურევენ. ადუღებენ 2-3 წვეთი და მაშინვე აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატი შეიცავს ტყვიის ქლორიდს, რომლის 2-3 წუთს ათავსებენ სინჯარაში, უმატებენ 2N

CH_3COOH -ს და კალიუმის ქრომატის ხსნარის რამდენიმე წვეთს. Pb^{2+} -იონების არსებობისას წარმოიქმნება ყვითელი ფერის ნალექი.

Sn^{2+} და Sn^{4+} იონების აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 5-6 წვეთს ათავსებენ სინჯარაში და ამუშავებენ 2N NaOH -ის ჭარბი რაოდენობით. ნალექს აცილებენ ცენტრიფუგირებით და მიღებულ ხსნარში აღმოაჩენენ Sn^{2+} და Sn^{4+} -იონებს. ჯერ Sn^{4+} -ს ადადგენენ Sn^{2+} -იონებად. ამისათვის საკვლევი ხსნარის 7-8 წვეთს ათავსებენ სინჯარაში, უმატებენ კონცენტრირებული HCl -ის წვეთს. მიღებულ ნარევეში ჩაუშვებენ რკინის მავთულის 2-3 ნაჭერს, რომლებიც წინასწარ ზუმფარის ქაღალდით არის გაწმენდილი. Sn^{4+} -იონები გადადის Sn^{2+} -იონებში. Sn^{2+} -იონების აღმოსაჩენად საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთს ათავსებენ სინჯარაში, უმატებენ HCl -ისა და ვერცხლისწყლის (II) ქლორიდის ხსნარის 2-3 წვეთს. Sn^{2+} -იონების არსებობისას წარმოიქმნება თეთრი ნალექი, რომელიც თანდათან შავდება.

Sb^{3+} და Sb^{5+} -იონების აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთს ამუშავებენ კონცენტრირებული HNO_3 -ის 1 მლ-ით. შემდეგ წვეთწვეთობით უმატებენ კალას (II) ქლორიდისა და NaNO_3 -ის ხსნარებს მურა შეფერვის გაქრობამდე. ხსნარს აყოვნებენ 1-2 წუთს, შემდეგ წვეთწვეთობით უმატებენ შარდოვანას ნაჯერ ხსნარს აქაფების შეწყვეტამდე. ერთდროულად ანზავებენ წყლით და უმატებენ მეთილის იისფერის 0,2% ხსნარის 2 წვეთს. სტიბიუმის იონების არსებობისას წარმოიქმნება იისფერი სუსპენზია.

Bi^{3+} -იონის აღმოჩენა. 1) თუ ხსნარში $[\text{Hg}_2]^{2+}$ და Hg_2^{2+} -იონები არ არსებობს, მაშინ საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთს მინის ფირფიტაზე უმატებენ სეგნეტის მარილის $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ -ის 5%-იანი ხსნარის 1 წვეთს (ეს მარილი მძიმე ლითონების იონებთან წარმოქმნის უფერო კომპლექსური ნაერთებს). შემდეგ მიღებული ნარევის 1-2 წვეთს და უმატებენ ახლად დამზადებული ნატრიუმის სტანიტის ხსნარის 3-5 წვეთს. Bi^{3+} -იონების არსებობისას წარმოიქმნება შავი ფერის ნალექი.

2) $[\text{Hg}_2]^{2+}$ და Hg_2^{2+} -იონების არსებობისას საკვლევი ხსნარის 3-5 წვეთს ათავსებენ ტიგელში და აორთქლებენ გაშრობამდე ამწოვ

კარადაში. მშრალ ნაშთს ახურებენ გაწითლებამდე. ამ დროს ხდება ვერცხლისწყლის მარილების აორთქლება. ტიგელს აცივებენ, ნაშთს ხსნიან 2N HCl-ის 2-3 წვეთში და Bi^{3+} -იონს აღმოაჩენენ ზემოთ მოყვანილი წესით.

Fe^{2+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთს უმატებენ 2N HCl-ის 2-3 წვეთს და კალიუმის ფერიციანიდის (სისხლის წითელი მარილის) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 2-3 წვეთს. Fe^{2+} -იონების არსებობისას გამოიყოფა მუქი ლურჯი ფერის ნალექი – ტურბულის ლურჯი.

Fe^{3+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთს უმატებენ 2N HCl-ის 1-2 წვეთს და კალიუმის ფეროციანიდის (სისხლის ყვითელი მარილის) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ხსნარის 1-2 წვეთს. Fe^{3+} -იონების არსებობისას გამოიყოფა მუქი ლურჯი ფერის ნალექი – ბერლინის ლაჟვარი.

Al^{3+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 1-2 მლ-ს უმატებენ 2N NaOH-ის რამდენიმე წვეთს ტუტე რეაქციის მიღებამდე. ნარევს ადუღებენ 1-2 წუთის განმავლობაში და აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატში Al^{3+} -იონები ალუმინატის სახით გადადის. ცენტრიფუგატის რამდენიმე მლ-ს მცირე ულუფებით უმატებენ მყარ NH_4Cl და ადუღებენ, ვიდრე არ შეწყდება NH_3 -ის გამოყოფა. თეთრი ამორფული ნალექის წარმოქმნა Al^{3+} -იონის არსებობას ადასტურებს.

Cr^{3+} -იონის აღმოჩენა. სამვალენტიანი ქრომის ექსვალენტიანამდე დასაქანგად ფაიფურის ჯაშში ათავსებენ 3-5 წვეთ საკვლევ ხსნარს, უმატებენ 2N NaOH-ის ტუტე რეაქციამდე (შემოწმება ლაკმუსის ქაღალდით) და H_2O_2 3%-იანი ხსნარის 3-5 წვეთს. ხსნარს ადუღებენ H_2O_2 -ის სრულ დაშლამდე (ქანგბადის ბუშტულების გამოყოფის შეწყვეტამდე). სხვა სინჯარებში ურევნ 3-5 წვეთს 1N H_2SO_4 -ს, H_2O_2 -ის 3%-იანი ხსნარის რამდენიმე წვეთს და მაშინვე ძლიერ შეანჯღრევენ. ნარევს აყოვნებენ დაწდომამდე ქრომის არსებობის შემთხვევაში ეთერის შრე ლურჯად შეიფერება.

Mg^{2+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 3 წვეთს უმატებენ 2N NaOH-ს ტუტე რეაქციამდე და კიდევ ჭარბად 2-3 წვეთს. გულმოდგინედ ურევნ და აცენტრიფუგირებენ. ნალექს ორჯერ ჩარეცხავენ

ცხელი წყლით და უმატებენ კონცენტრირებული ამიაკის ხსნარის წვეთს. $6N \text{ NH}_4\text{Cl}$ -ის 1 წვეთს. კარგად ურევენ და აცენტრიფუგირებენ. სასაგნე მინაზე აწვეთებენ ცენტრიფუგატის 2 წვეთს და იქვე გვერდზე Na_2HPO_4 -ის ხსნარის 1 წვეთს. ხსნარებს აერთიანებენ მინის წკირის ხახუნით მინაზე, ოდნავ აშრობენ ცეცხლზე და აცივებენ. Mg^{2+} -იონის არსებობისას წარმოიქმნება დამახასიათებელი კრისტალების მქონე MgNH_4PO_4 .

Ca^{2+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 3-5 წვეთს უმატებენ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ის ნაჯერი ხსნარის 3-5 წვეთს. ნალექს ხსნარისაგან აცილებენ ცენტრიფუგირებით. Ba^{2+} და Sr^{2+} -იონების სრულ დალექვას ამოწმებენ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ის ნაჯერი ხსნარის რამდენიმე წვეთის დამატებით. აღნიშნული იონების დალექვის სისრულეში დარწმუნების შემდეგ, გამჭვირვალე ხსნარს უმატებენ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ -ის ხსნარს, Ca^{2+} -იონების არსებობისას წარმოიქმნება თეთრი ნალექი ან სიმღვრივე.

Sr^{2+} -იონის აღმოჩენა. ფილტრის ქაღალდის ვიწრო ზოლს გაჟღენთავენ K_2CrO_4 -ის ხსნარის, აშრობენ და მასზე ათავსებენ საკვლევი ხსნარისა და ნატრიუმის როდიზონატის 1%-იანი ხსნარის თითო წვეთს. მურა-წითელი ფერის ლაქის წარმოქმნა, რომელიც $2N \text{ HCl}$ -ით უფერულდება, Sr^{2+} -იონის არსებობის მაჩვენებელია.

Ba^{2+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 3-5 წვეთს უმატებენ $2N \text{ CH}_3\text{COOH}$ -ს მუქავ რეაქციაზე და K_2CrO_4 -ის 2-3 წვეთს. ყვითელი ნალექის გამოყოფა Ba^{2+} -იონის არსებობაზე მეტყველებს.

Mn^{2+} -იონის აღმოჩენა. საკვლევი ხსნარის 1-2 წვეთს უმატებენ კონცენტრირებული HNO_3 -ის 1-2 წვეთს, 2 წვეთ წყალს და მშრალი NaBiO_3 -ის რამდენიმე მარცვალს, შეანჯღრევენ და აცენტრიფუგირებენ. ხსნარში Mn^{2+} -იონების არსებობისას ცენტრიფუგატი ჟოლოსფრად შეიფერება (MnO_4^- -ის იონების ფერი), ხოლო თუ ხსნარში რკინის მარილებია, მაშინ ხსნარის ყვითელი ფერი შენიღბავს MnO_4^- -ის ფერს. ამ შემთხვევაში, მიზანშეწონილია ხსნარს დაემატოს 1-2 წვეთი H_3PO_4 , რომელსაც Fe^{3+} გადაყავს უფერო კომპლექსში.

იყენებენ სხვა ხერხსაც: სინჯარაში ათავსებენ მყარ PbO_2 -ს. 1 წვეთ

კონცენტრირებულ HNO_3 -ს და 0,1N AgNO_3 -ის 3-5 წვეთს (Cl, Br და I-იონების შესაბოჭად). ნარევეს წკირით ურევენ და ადუღებენ 1-2 წუთის განმავლობაში, შემდეგ უმატებენ არაუმეტეს 1-2 წვეთ საკვლევ ხსნარს და კვლავ აცხელებენ ადუღებამდე, გაცივების შემდეგ კი უმატებენ 3-5 წვეთ წყალს და აცენტრიფუგირებენ. Mn^{2+} -იონების არსებობისას ნალექზედა სითხე იისფერ-ვარდისფრად შეიფერება.

Hg^{2+} -იონის აღმოჩენა. 2-5 წვეთ საკვლევ ხსნარს ამუშავებენ 2N HCl-ის ტოლი მოცულობით. ნალექს აცილებენ ცენტრიფუგირებით. ცენტრიფუგატის 1 წვეთს ათავსებენ წინასწარ გაწმენდილ სპილენძის ფირფიტაზე. Hg^{2+} -იონის არსებობისას წარმოიქმნება ლითონური ვერცხლისწყლის მზინავი ლაქა.

Cu^{2+} -იონის აღმოჩენა. მმარმეავით შემუშავებული საკვლევი ხსნარის წვეთს ათავსებენ რუბეანწყალბადმეავას 0,5%-იანი ხსნარით დასველებულ ფილტრის ქაღალდზე, რომელზეც ორი ზონა წარმოიქმნება. ცენტრალურ ზონაში შავი ლაქის ან Cu^{2+} -ის მცირე კონცენტრაციის შემთხვევაში მუქი მწვანე შეფერილობის წარმოქმნა Cu^{2+} -იონების არსებობაზე მიუთითებს.

Co^{2+} -იონის აღმოჩენა. 1-2 მლ საკვლევ ხსნარს უმატებენ 6N NH_4OH -ს ტუტე რეაქციამდე. ნარევეს აცენტრიფუგირებენ. Co^{2+} , Ni^{2+} და Zn^{2+} -იონები ცენტრიფუგატში გადადის. მას უმატებენ 2N HCl-ს სუსტ მჟავე რეაქციამდე. ცენტრიფუგატის ნაწილს უმატებენ ZnSO_4 -ის ხსნარის 1-2 წვეთს და $(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$ ხსნარის 3-4 წვეთს. ნარევეს ანჯღრევენ და სინჯარის კედელზე მინის წკირით ახახუნებენ. Co^{2+} -იონის არსებობისას გამოიყოფა ლურჯი ფერის ნალექი.

Cd^{2+} -იონის აღმოჩენა. 2-3 წვეთ საკვლევ ხსნარს ჭარბად უმატებენ ტყვიის სულფიდის სუსპენზიას და 2 წუთის განმავლობაში აცხელებენ ადუღებამდე. მიღებულ ნალექს სუსპენზიას აცილებენ ცენტრიფუგირებით. ხსნარს შეამუშავებენ და უმატებენ გოგირდწყალბადიან წყალს. Cd^{2+} -იონების არსებობისას წარმოიქმნება CdS-ის ყვითელი ფერის ნალექი.

As^{3+} და As^{5+} -იონების აღმოჩენა. 2-3 წვეთ საკვლევ ხსნარს ათავსე-

ბენ სინჯარაში, უმატებენ ორმაგი მოცულობით კონცენტრირებულ HCl-ს. ამ დროს AsO_3^{3-} და AsO_4^{3-} გადადის As^{3+} და As^{5+} -იონებში. მიღებულ ხსნარს ადუღებამდე აცხელებენ, ფრთხილად უმატებენ 3-4 წვეთ $(NH_4)_2S$ -ის ხსნარს და სინჯარას აფარებენ ფილტრის ქაღალდს. გარკვეული დროის შემდეგ As^{3+} და As^{5+} -იონების არსებობისას წარმოიქმნება As_2S_3 და As_2S_5 -ის ყვითელი ფერის ნალექი.

Zn^{2+} -იონის აღმოჩენა. 1-2 მლ საკვლევი ხსნარს უმატებენ 2N NaOH-ს ძლიერ ტუტე რეაქციამდე. ნარევს ადუღებენ 1-2 წუთის განმავლობაში და აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატში Zn^{2+} -იონები გადადის ცინკატების სახით. ცენტრიფუგატს ამჟავებენ 2N CH_3COOH (სინჯი ლაკმუსით) და მასში ატარებენ გოგირდწყალბადს. Zn^{2+} -იონის არსებობისას გამოიყოფა თეთრი ფერის ნალექი.

Na^+ -იონის აღმოჩენა. 3-5 წვეთ საკვლევ ხსნარს ათავსებენ სინჯარაში და უმატებენ 2N K_2CO_3 -ის 2-3 წვეთს. ნარევს აცხელებენ წყლის აბაზანაზე NH_3 -ის სრულ მოცილებამდე. (ფაიფურის სამკოთხედზე ათავსებენ ტიგელს, რომელშიც ასხია საკვლევი ხსნარის რამდენიმე წვეთი და სანთურის ალზე ფრთხილი გაცხელებით ხსნარს აორთქლებენ სიმშრალამდე. მიღებულ ნალექს ნელა გამოწვავენ თეთრი ბოლის გამოყოფის სრულ შეწყვეტამდე. გაციების შემდეგ ასველებენ 3-5 წვეთი დისტილირებული წყლით. ამონიუმის მარილების მოცილების სისრულეს ამოწმებენ ნესლერის რეაქტივით). ხსნარიდან ნალექს აცილებენ ცენტრიფუგატით, რომელიც ძმარმჟავას თანაობისას Na^+ -იონებთან წარმოქმნის ყვითელი ფერის ნალექს.

K^+ -იონის აღმოჩენა. სინჯარაში ათავსებენ 3-5 წვეთ საკვლევ ხსნარს და 2-3 წვეთ 2N Na_2CO_3 -ს. ნალექის გამოყოფის დასაჩქარებლად ნარევს აცხელებენ წყლის აბაზანაზე. ცენტრიფუგირებით ნალექი მოცილების შემდეგ მიღებულ ხსნარს უმატებენ 3N NaOH-ის 3-5 წვეთს და 2-3 წვეთ ნატრიუმის ტეტრაფენილბორატის $Na[B(C_6H_5)_4]$ ხსნარს. მჟავებში უხსნადი თეთრი ფერის ნალექის წარმოქმნა K^+ -იონების არსებობაზე მიგვითითებს, ანალოგიურ ნალექს იძლევა NH_4^+

იონიც, მაგრამ იგი იხსნება $3N NaOH$ -ში.

NH_4^+ - იონის აღმოჩენა. . 1-2 წვეთ საკვლევ ხსნარს ათავსებენ სინჯარაში და უმატებენ ნესლერის რეაქტივს – კალიუმის ტეტრაიოდმერკურატის (II)- $K_2[HgI_4]$ KOH -ის 1-2 წვეთს. NH_4^+ იონების არსებობისას, მათი კონცენტრაციის შესაბამისად, წარმოიქმნება მურა-ნარინჯისფერი ნალექი ან ხსნარი შეიფერება ყვითლად.

2.8. კატიონების სისტემური ანალიზი ფტალმჟავა მეთოდით

I ჯგუფის კატიონების ანალიზი. ანალიზები ტარდება ნეიტრალურ ხსნარში. საჭიროების შემთხვევაში უმატებენ $6M HNO_3$ ან $6M NaOH$ -ს. ნეიტრალური საკვლევი ხსნარის 2 მლ-ს წვეთ-წვეთობით უმატებენ $6M HCl$ -ს ნალექის გამოყოფის შეწყვეტამდე. აცივებენ $0^\circ C$ -მდე და ქლორიდების ნალექის მოსაცილებლად აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატი ყველა დანარჩენი ჯგუფის კატიონებით (V_1) გადააქვთ ცალკე სინჯარაში. ნალექს უმატებენ 1მლ ცხელ წყალს, აცხელებენ და სწრაფად აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატს უმატებენ $5M CH_3COONH_4$ და $0,5M K_2CrO_4$ -ს. Pb^{2+} -იონის არსებობისას გამოიყოფა $PbCrO_4$ ნალექი. ცხელი წყლით ჩარეცხილ $AgCl$ -სა და Hg_2Cl_2 -ის ნალექს უმატებენ $6M NH_4OH$ -ს. ნალექი ნაწილობრივ იხსნება. გაუხსნელი ნაწილი წარმოადგენს Hg ან $HgNH_2Cl$ -ს. ხსნარს შეამჟავებენ $6M HNO_3$ -ით. Ag^+ -იონის არსებობისას გამოიყოფა $AgCl$ -ის ნალექი.

II ჯგუფის კატიონების ანალიზი. ცენტრიფუგატ V_1 -დან II ჯგუფის კატიონების გამოსაყოფად $6M HNO_3$ -ის საშუალებით pH დაყავთ ორამდე. შემდეგ უმატებენ $0,5M$ კალიუმის ბიფტალატის $C_6H_4(\overset{COOH}{\underset{COOK}{|}})$ რამდენიმე წვეთს და $2M NaOH$ -ს $pH=4-5$ -მდე მისაყვანად. ნარევს აცხელებენ 10 წუთის განმავლობაში წყლის აბაზანაზე, აცენტრიფუგირებენ და III-VI ჯგუფის კატიონების შემცველი V_2 ცენტროფუგატი გადააქვთ ცალკე სინჯარაში. 10 წუთიანი გაცხელება აუცილებელია სხვა ჯგუფური კატიონების ჰიდროქსიდების სახით

დალექვის თავიდან ასაცილებლად, მიღებულ ნალექში არის II-ჯგუფის კატიონების ჰიდროქსიდები, ოქსიდები ან ფუძე ფტალატები. ბიფტალატის სიჭარბემ შეიძლება გამოიწვიოს კატიონების კომპლექსების წარმოქმნა ფტალატ-იონთან, რაც შემდგომ ანალიზს ხელს შეუშლის.

II ჯგუფის კატიონების ნალექს უმატებენ 6M HNO_3 -ს და აცენტრიფუგირებენ, ნალექში რჩება სტიბიუმის იონი. ყველა დანარჩენი კატიონი ხსნარში გადადის. ნალექს ხსნიან 6M HCl -ით და უმატებენ 1M Na_2S . Sb^{3+} არსებობისას გამოიყოფა Sb_2S_3 -ის ნალექი. ცენტრიფუგატს უმატებენ 6M NaOH -ს და 2,5%-ან H_2O_2 -ს და აცენტრიფუგირებენ. ნალექში რჩება რკინისა და ბისმუტის ჰიდროქსიდები, ცენტრიფუგატში კი Al^{3+} , Cr^{3+} , Sn^{2+} და Sn^{4+} -იონები. ნალექს ხსნიან 6M HNO_3 -ში. მიღებული ხსნარის ერთ ნაწილს უმატებენ 6M NaOH -სა და 0,1M SnCl_2 -ს. გამოყოფილი ნალექი წარმოადგენს ლითონურ ბისმუტს, ხსნარის მეორე ნაწილს უმატებენ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -ს რკინის აღმოსაჩენად. ცენტრიფუგატს ყოფენ სამ ნაწილად. ერთ-ერთ მათგანს თანამიმდევრულად უმატებენ 6M HCl -ს, 5M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ -ს, ალუმინონს, 2,5M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -სა და NH_4OH -ს. ნალექის გამოყოფა ადასტურებს ალუმინის იონების არსებობას. ცენტრიფუგატის მეორე ნაწილში აღმოაჩენენ ქრომის იონს 6M HCl -ის, ამილის სპირტისა და 2,5%-იანი H_2O_2 -ის მეშვეობით წარმოიქმნება ქრომის კომპლექსი. ცენტრიფუგატის მესამე ნაწილს უმატებენ 12M HCl -ს, ლითონურ რკინას და 0,1M HgCl_2 -ს. ნალექის გამოყოფა ადასტურებს კალას იონის არსებობას.

III ჯგუფის კატიონების ანალიზი. ცენტრიფუგატ V_2 -ს უმატებენ NaF -ის ნაჯერ ხსნარს, 5 წუთის შემდეგ ნარევს აცივებენ 0°C -მდე და აცენტრიფუგირებენ. ნალექში გადადის Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} და Sr^{2+} -იონების ფტორიდები. ხოლო ცენტრიფუგატში (V_1) – IV, V, VI ჯგუფის კატიონები ფტორიდების ხსნარში გადასაყვანად ნალექს შეაღებენ KOH და K_2CO_3 -თან. მიღებული ნალღობის წყლით გამოტუტვის დროს ხსნარში გადადის ფტორიდები და ტუტე ლითონების კარბო-

ნატების სიჭარბე. ცენტრიფუგირების შემდეგ ნალექში რჩება მჟავებით დაშლის უნარის მქონე მესამე ჯგუფის კატიონების კარბონატები. ნალექს ხსნიან 12M HCl-ში და Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} -იონების დალექვამდე $(NH_4)_2CO_3$ -ის მეშვეობით, უმატებენ H_3BO_3 -ის ნაჯერ ხსნარს.

Mg^{2+} -იონების მოსაცილებლად და დანარჩენი იონების დასალექად ქლორიდების ხსნარის 5 წვეთს უმატებენ 13M NH_4OH -ის რამდენიმე წვეთს (სინჯი ტუტე გარემოზე შემოწმდება ლაკმუსის ქაღალდის საშუალებით), 1-2 წვეთ NH_4Cl -ის ნაჯერ ხსნარს, 5-10 წვეთ $(NH_4)_2CO_3$ -ის ხსნარს და ნარევს აცხელებენ 60-70°C-მდე. ხსნარს ნალექით აყოვნებენ რამდენიმე წუთს და აცენტრიფუგირებენ. Mg^{2+} -იონი რჩება ხსნარში. 2-3 წვეთ ხსნარს უმატებენ 6M NaOH-ს და 1-2 წვეთ მაგნეზონის ხსნარს. აფიქსირებენ რეაქტივის წითელ-იისფერი შეფერილობის გადასვლას ლურჯ ფერში ან ლურჯი ფერის ნალექის გამოყოფას.

Ba^{2+} , Sr^{2+} და Ca^{2+} კარბონატების ნალექს რამდენჯერმე ჩარეცხავენ ცხელი დისტილირებული წყლით და იგივე საცენტრიფუგო სინჯარაში ხსნიან 3M CH_3COOH -ით. Ba^{2+} -იონის აღმოსაჩენად საცენტრიფუგო სინჯარაში უმატებენ 3M CH_3COONa და 1M K_2CrO_4 -ს აცხელებენ წყლის აბაზანაზე და აცენტრიფუგირებენ. ნალექში რჩება $BaCrO_4$, ხსნარში Ca^{2+} და Sr^{2+} -იონები. ამ იონების შემცველი ცენტრიფუგატი სხვა საცენტრიფუგო სინჯარაში გადააქვთ. დარჩენილ ნალექს უმატებენ 6M HCl-ს, მიღებულ ხსნარში Ba^{2+} -ს აღმოაჩენენ ორი ხერხით: 1) უფერო აირის ალის გამწვანებით; 2) $(NH_4)_2SO_4$ 0,1M ხსნარის დამატებისას $BaSO_4$ -ის ნალექის გამოყოფით. Sr^{2+} და Ca^{2+} -იონების შემცველ ცენტრიფუგატს უმატებენ 6M NH_4OH , 1M K_2CrO_4 -ს და ეთილის სპირტს. ნალექში გამოიყოფა $SrCrO_4$. ცენტრიფუგირებით მას აცილებენ Ca^{2+} -იონების შემცველ ხსნარს. ნალექს ხსნიან 6M HCl-ში და Sr^{2+} -იონებს აღმოაჩენენ აირის უფერო ალის ჟოლოსფრად შეფერვით. ხსნარს უმატებენ 4M ქლორმმარმეჟავას $ClCH_2COOH$ 0,2M $(NH_4)_2C_2O_4$ -ს, გამოიყოფა ნალექი CaC_2O_4 . მას ხსნიან 6M HCl-ში და Ca^{2+} -იონებს აღმოაჩენენ აირის უფერო ალის წითლად შეფერვით.

IV ჯგუფის კატიონების ანალიზი. ცენტრიფუგატ V₃-ს უმატებენ 6M NaOH-ს, რომელიც დალექავს Co(OH)₂, Cd(OH)₂, Ni(OH)₂, Mn(OH)₂ და HgO-ს. ხსნარს ნალექთან ერთად აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატ V₄-ში V და VI ჯგუფის კატიონებია. ჰიდროქსიდების გადასაცანად ქლორიდებში ნალექს უმატებენ 6M HCl და 13M NH₄OH-ს. ნალექში რჩება Mn(OH)₂ და HgNH₂Cl ხსნარს აცენტრიფუგირებენ. ნალექს ხსნიან 6M HNO₃-სა და 2,5%-იან H₂O₂-ში. ხსნარის ერთ ნაწილს უმატებენ NaBiO₃-ს; ხსნარის იისფერ-ვარდისფერი შეფერვა ადასტურებს მასში Mn²⁺-იონის არსებობას. ხსნარის მეორე ნაწილს უმატებენ SnCl₂-ის 0,1M ხსნარს და აკვირდებიან Hg₂Cl₂-სა და Hg-ის ნალექის გამოყოფას Co²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺ და Ni²⁺ იონების შემცველ ცენტრიფუგატს უმატებენ 12M HCl, მყარ Na₂SO₃-ს და 1M NH₄SCN-ს. ნალექში გამოიყოფა Cu₂(SCN)₂, ხსნარს აცენტრიფუგირებენ და უმატებენ HCl-ის ნაჯერ ხსნარს, 6M CH₃COOH-სა და 6M KNO₂-ს. ნალექში გამოიყოფა K₃Co(NO₂)₆, ხსნარში დარჩება Cd²⁺ და Ni²⁺-იონები. ცენტრიფუგირების შემდეგ ნალექს ხსნიან 6M HCl-ში, უმატებენ 1M NH₄SCN-ს და აცეტონს. წარმოიქმნება კობალტის ლურჯი ფერის კომპლექსი. ცენტრიფუგატს უმატებენ 6M NH₄OH და დიმეთილ-გლიოქსიმს, რომელიც გამოლექავს ნიკელის იონს. ხსნარს აცენტრიფუგირებენ. ცენტრიფუგატში რჩება Cd²⁺-იონი, მას უმატებენ 0,1M Na₂S, რომელიც წარმოქმნის CdS-ის ყვითელი ფერის ნალექს.

V ჯგუფის კატიონების ანალიზი. ცენტრიფუგატი V₄ აორთქლებით დაყავთ 2მლ-მდე, ამჟავებენ 12M HCl-ით, უმატებენ 13M NH₄OH-ს. ხსნარს ორ ნაწილად ყოფენ. ერთ ნაწილში აღმოაჩენენ დარიშხანს, რისთვისაც ხსნარს უმატებენ 6M NaOH და ლითონურ ალუმინს. შემდეგ უმატებენ AgNO₃-ს, რის შედეგადაც გამოიყოფა თავისუფალი ვერცხლის შავი ნალექი. ხსნარის მეორე ნაწილზე მოქმედებენ 6M HCl და 0,1M Na₂S-ით. ZnS-ის წარმოქმნა თუთიის იონის არსებობას ადასტურებს.

VI ჯგუფის კატიონების ანალიზი. საკვლევი ხსნარის ცალკე სინ-

ჯში ნესლერის რეაქტივით აღმოაჩენენ NH_4^+ -იონს, რომელსაც შემდეგ აცილებენ აორთქლებით. ამისთვის ხსნარის 1 მლ-ს ათავსებენ ფაიფურის ჯამზე და აორთქლებენ წყლის აბაზანაზე. მშრალ ნაშთს გამოწვავენ ელექტროქურაზე თეთრი ბოლის მოცილებამდე. ნაშთს უმატებენ 1 მლ დისტილირებულ წყალს. მიღებული ხსნარის ნაწილში აღმოაჩენენ Na^+ -ს აირის უფერო ალის გაყვითლებით ხსნარის მეორე ნაწილს უმატებენ ეთილის სპირტს და 70% HClO_4 -ს. მიიღება KClO_4 -ის ნალექი. მას ხსნიან 6M HCl -ში და აღმოაჩენენ კალიუმის იონს აირის უფერო ალის იისფრად შეფერვით.

ფტალმჟავა მეთოდით კატიონთა სისტემური თვისებითი ანალიზის ჩასატარებლად გამოიყენება შემდეგი რეაქტივები:

მჟავები: 6M HNO_3 , 6M HCl , 12M HCl , 6M CH_3COOH , 70% HClO_4 .

4M ClCH_2COOH , H_3BO_3 – ნაჯერი ხსნარი.

ტუტეები: 2M NaOH , 6M NaOH , 6M NH_4OH , 13M NH_4OH , KOH .

მარილები: 3M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 5M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 3M CH_3COONa ,

0,5 M K_2CrO_4 , 1M K_2CrO_4 , 0,1M Na_2S , 1M Na_2S , Na_2SO_3 ,

1M NH_4SCN , KCl -ის ნაჯერი ხსნარი, NH_4Cl -ის ნაჯერი

ხსნარი, 6M KNO_3 , 1M AgNO_3 , 0,1M AgNO_3 , $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$,

0,1M HgCl_2 , 2,5M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, NaF -ნაჯერი ხსნარი, K_2CO_3 .

სხვა: 2,5% H_2O_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, აცეტონი, ამილის სპირტი, დიმეთილ-გლიოქსიმი, ნესლერის რეაქტივი, Al , Fe , ალუმინონი, მაგნეზონი.

2.9. ანიონთა ანალიზი. ანიონთა ანალიზური ჯგუფები

ანიონების ანალიზურ ჯგუფებად დაყოფას საფუძვლად უდევს ბარიუმის და ვერცხლის მარილების განსხვავებული ხსნადობა. ანიონების ანალიზურ ჯგუფებად დაყოფა სხვა ნიშნების მიხედვითაცაა შესაძლებელი.

ანიონების პირველი ანგალიზური ჯგუფი: ფოსფატ-იონი PO_4^{3-} ,

სულფატ-იონი SO_4^{2-} , სულფიტ-იონი SO_3^{2-} , კარბონატ-იონი CO_3^{2-} , თიოსულფატ-იონი $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, ქრომატ-იონი CrO_4^{2-} , (ბიქრომატ-იონი $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), ბორატ-იონი BO_2^- (ტეტრაბორატ-იონი $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$), ოქსალატ-იონი $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$), სილიკატ-იონი SiO_3^{2-} , ფტორიდ-იონი F^- , არსენიტ-იონი AsO_3^{3-} , არსენატ-იონი AsO_4^{3-} . ჩამოთვლილი იონები ბარიუმის-იონებთან Ba^{2+} წარმოქმნის წყალში ძნელადხსნად მარილებს. ჯგუფური რეაქტივია BaCl_2 ნეიტრალურ ან სუსტ ტუტე გარემოში. აღნიშნული ანიონების ბარიუმის მარილები, გარდა BaSO_4 -ისა, მჟავებში იხსნება. Ag^+ -იონი მოცემული ჯგუფის ანიონებთან. SO_4^{2-} და $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -ის გარდა, წარმოქმნის წყალში ძნელხსნად მარილებს, რომლებიც ადვილად იხსნება განზავებულ HNO_3 -ში.

ანიონების მეორე ანალიზური ჯგუფი: ქლორიდ-იონი Cl^- , ბრომიდ-იონი Br^- , იოდიდ-იონი I^- , სულფიდ-იონი S^{2-} , როდანიდ-იონი SCN^- . ჩამოთვლილი ანიონები Ag^+ -იონთან წარმოქმნის წყალში ძნელხსნად და განზავებულ HNO_3 -ში უხსნად მარილებს. ჯგუფური რეაქტივია AgNO_3 განზავებული HNO_3 -ის თანაობისას.

მეორე ანალიზური ჯგუფის ანიონების Ba^{2+} -იონებთან წარმოქმნილი მარილები წყალში ხსნადია.

ანიონების მესამე ანალიზური ჯგუფი: ნიტრატ-იონი NO_3^- , ნიტრიტ-იონი NO_2^- , აცეტატ-იონი CH_3COO^- . ამ ანიონების ვერცხლის და ბარიუმის მარილები წყალში კარგად იხსნება. ჯგუფური რეაქტივი მათ არ გააჩნია.

ანიონების ანალიზის დროს, კატიონების ანალიზისაგან განსხვავებით, საყოველთაოდ მიღებული სისტემური ანალიზის სქემა არ არსებობს. მიზანშეწონილია ცალკეული ანიონის უშუალო აღმოჩენა მათი წინასწარი დაცილების გარეშე. ეს განპირობებულია იმით, რომ ანიონები უმეტეს წილად ხელს არ უშლის სხვა ანიონების აღმოჩენას. ამის გამო ჯგუფური რეაქტივი გამოიყენება არა ჯგუფების გამოყოფისათვის, არამედ ანიონების აღმოსაჩენად.

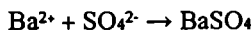
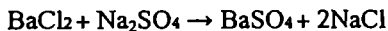
ანიონებზე კერძო რეაქციების ჩატარების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის, რომ უმრავლესობა ანიონების ბარიუმის ან ვერ-

ცხლის მარილების ნალექების გარეგანი სახე ერთნაირია. ამიტომ დიდი ყურადღებით უნდა დავაკვირდეთ ამა თუ იმ ნალექების მჟავებსა და სხვა რეაქტივებში ხსნადობის ხასიათსა და ხარისხს. მოცემულ მჟავაში ხსნადად ითვლება ის ნალექი, რომელიც მიღებულია რა საკვლევი ხსნარის 2-3 წვეთიდან უნაშთოდ (ან უმნიშვნელო ნაშთით) იხსნება განზავებული მჟავას რამდენიმე წვეთის დამატების შედეგად, მაგრამ თუ მჟავას (ან სხვა რეაქტივის) 10 წვეთის დამატებისას ნალექი არ იხსნება, ან ხსნარი შესამჩნევად გამჭვირვალე არ ხდება, ნალექი უხსნადად ითვლება.

2.9.1. პირველი ანალიზური ჯგუფის ანიონების რეაქციები.

კერძო რეაქციები სულფატ-იონზე SO_4^{2-}

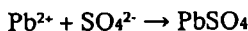
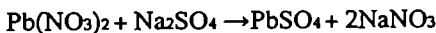
1. ბარიუმის ქლორიდი BaCl_2 სულფატების განზავებული ხსნარებიდან გამოყოფს ბარიუმის სულფატის BaSO_4 -ის თეთრი ფერის ნალექს:



BaSO_4 უხსნადია მჟავებში. ამით იგი გამოირჩევა I ჯგუფის სხვა ანიონების ბარიუმის მარილებისაგან:

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ ნატრიუმის სულფატის ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ BaCl_2 ხსნარს.

2. ტყვიის (II) აცეტატი და ნიტრატი სულფატების ხსნარებიდან გამოყოფს ტყვიის (II) სულფატის თეთრი ფერის ნალექს:



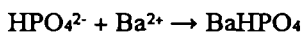
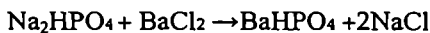
PbSO_4 არ იხსნება HNO_3 -ში, გაცხელებით ძნელად იხსნება ტუტეების ხსნარებში, აგრეთვე ამონიუმის აცეტატის კონცენტრირებული (30 %) ხსნარში.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ ნატრიუმის სულფატის ხსნარს

უმატებენ 2 წვეთ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ხსნარს.

კერძო რეაქციები ფოსფატ-იონზე PO_4^{3-}

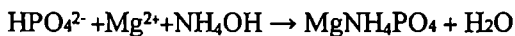
1. ბარიუმის ქლორიდი BaCl_2 ფოსფატების (ჰიდროფოსფატების) ნე-იტრალური ხსნარებიდან გამოყოფს ბარიუმის ჰიდროფოსფატის თეთრი ფერის ამორფულ ნალექს:



ნალექი ადვილად იხსნება მინერალურ მჟავებსა (H_2SO_4 -ის გარ-და) და ძმარმჟავაში.

რეაქციის შესრულება: 4 წვეთ ნატრიუმის ჰიდროფოსფატის ხსნარს უმატებენ 4 წვეთ BaCl_2 -ის ხსნარს. ნალექის ხსნადობას ამოწ-მებენ განზავებულ HCl და HNO_3 -ში.

2. მაგნეზიალური ნარევი (ამიაკის წყალხსნარი, ამონიუმის ქლორი-დი და მაგნიუმის ქლორიდი) ფოსფატების განზავებული ხსნარე-ბიდანაც კი გამოყოფს მაგნიუმ-ამონიუმის ფოსფატის თეთრი ფერის კრისტალურ ნალექს:

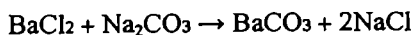


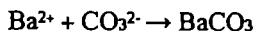
ნალექი ადვილად იხსნება სუსტ მჟავებში. ეს რეაქცია დამახა-სიათებელია მხოლოდ PO_4^{3-} -იონებისათვის.

რეაქციის შესრულება: სინჯარაში ათავსებენ 2 წვეთ Na_2HPO_4 -ის ხსნარს, უმატებენ 2-2 წვეთ NH_4Cl და NH_4OH -ის ხსნარებს, ცოტა ხნის შემდეგ კი – 2 წვეთ MgCl_2 -ის ხსნარს. გამოყოფილი ნალექის ხსნადობას ამოწმებენ განზავებულ HCl -სა და HNO_3 -ში.

კერძო რეაქციები კარბონატ-იონზე CO_3^{2-} ;

1. ბარიუმის ქლორიდი BaCl_2 კარბონატების ხსნარებიდან, და-ბალ ტემპერატურაზე, გამოყოფს ბარიუმის კარბონატის თეთრი ფერის ნალექს:

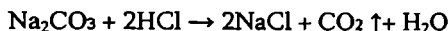




ნაღეჭი ადვილად იხსნება განზავებულ HCl -სა და HNO_3 -ში, აგრეთვე CH_3COOH -ში. ადულების ან დაყოვნების შემთხვევაში ნაღეჭი კრისტალური ან გაცილებით უფრო მკვრივი ხდება.

რეაქციის შესრულება: 5 წვეთ Na_2CO_3 -ის ხსნარს უმატებენ BaCl_2 -ს და აკვირდებიან გამოყოფილი ნაღეჭის ხსნადობას განზავებულ მჟავებში.

2. მჟავები ყველა კარბონატს შლის CO_2 -ის აქტიური გამოყოფით:

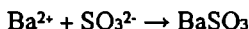
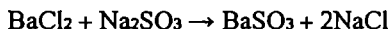


ეს რეაქცია დამახასიათებელია კარბონატებისათვის.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ Na_2CO_3 -ის ხსნარს წვეთ-წვეთობით უმატებენ განზავებულ HCl -ს (აქ სხვა მჟავას).

კერძო რეაქციები სულფიტ-იონზე SO_3^{2-}

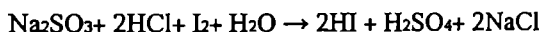
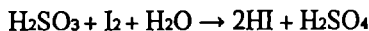
1. ბარიუმის ქლორიდი BaCl_2 სულფიტების ნეიტრალური ხსნარებიდან გამოყოფს ბარიუმის სულფიტის თეთრი ფერის ნაღეჭს:



ნაღეჭი იხსნება განზავებულ HCl -სა და HNO_3 -ში.

რეაქციის შესრულება: 4 წვეთ Na_2SO_3 -ს ხსნარს უმატებენ ამდენივე BaCl_2 -ს და აკვირდებიან გამოყოფილი ნაღეჭის ხსნადობას განზავებულ მჟავებში.

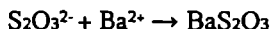
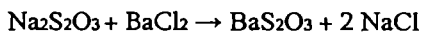
2. I_2 -ის ხსნარი გოგირდოვან მჟავაზე ან სულფიტების შემთავებულ ხსნარებზე მოქმედებისას უფერულდება:



რეაქციის შესრულება: 3 წვეთ იოდის წყალხსნარს უმატებენ 1 წვეთ განზავებულ HCl -ს და წვეთ-წვეთობით, მორევის პირობებში Na_2SO_3 -ის ხსნარს.

კერძო რეაქციები თიოსულფატ-იონზე $S_2O_3^{2-}$;

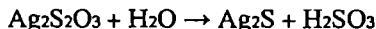
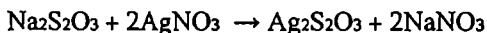
1. ბარიუმის ქლორიდი $BaCl_2$ თიოსულფატ-იონთან წარმოქმნის ბარიუმის თიოსულფატის თეთრი ფერის ნალექს.



ნალექი იხსნება მდუღარე წყალსა და განზავებულ მინერალურ მუჟავებში (გარდა H_2SO_4 -ისა).

რეაქციის შესრულება: 2-3 წვეთ $Na_2S_2O_3$ -ის ხსნარს უმატებენ ამდენივე $BaCl_2$ -ს და სინჯარის კედლებზე მინის წკირის ხახუნით დებულობენ ნალექს. ნალექიან ხსნარს ორ ნაწილად ყოფენ და ხსნადობას ამოწმებენ მდუღარე წყალსა და განზავებულ HNO_3 -ში.

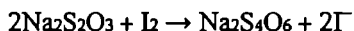
2. ვერცხლის ნიტრატი $AgNO_3$ ხსნად თიოსულფატებთან წარმოქმნის $Ag_2S_2O_3$ -ის თეთრი ფერის ნალექს, რომელიც მალე ყვითლდება, შემდეგ გადადის მურა-ყვითელში და ბოლოს, ვერცხლის სულფიდში გადასვლის გამო შავდება:



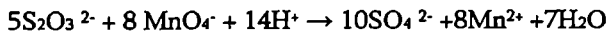
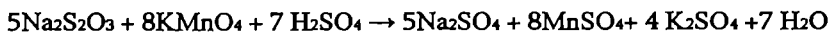
ნალექი $Ag_2S_2O_3$ იხსნება ჭარბ $Na_2S_2O_3$ -ში კომპლექსური $[Ag_2(S_2O_3)]$ -იონების წარმოქმნით, ამიტომ რეაქციის ჩატარების დროს საჭიროა ჭარბი $AgNO_3$ -ის დამატება. რეაქცია დამახასიათებელია თიოსულფატ-იონისათვის.

რეაქცია შესრულება: 1-2 წვეთ $Na_2S_2O_3$ -ის ხსნარს უმატებენ 3-4 წვეთ $AgNO_3$ -ის ხსნარს და აკვირდებიან გამოყოფილი ნალექის ფერის ცვლილებას.

3. თიოსულფატი აღადგენს ისეთ მჟანგავებს, როგორიცაა I_2 და $KMnO_4$. ამ დროს ხდება ხსნარის გაუფერულება:



ან

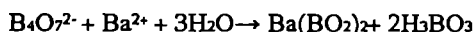
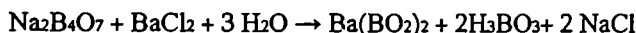


რეაქციის შესრულება: ერთ სინჯარაში ათავსებენ 5 წვეთ I_2 -ის

ხსნარს, მეორეში - 0,1N KMnO_4 -ის 5 წვეთს და 1 წვეთ $2\text{N H}_2\text{SO}_4$ -ს. ორივე სინჯარაში წვეთ-წვეთობით უმატებენ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის ხსნარს სრულ გაუფერულებამდე.

კერძო რეაქციები ბორატ და ტეტრაბორატ-იონებზე BO_2^- და $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$;

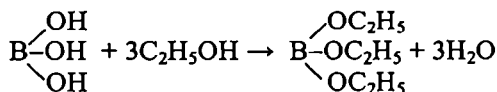
1. ბარიუმის ქლორიდი BaCl_2 ბორაქსის კონცენტრირებული ხსნარებიდან გამოყოფს ბარიუმის მეტაბორატის თეთრი ფერის ნალექს:



ნალექი იხსნება CH_3COOH , HCl და HNO_3 -ში.

რეაქციის შესრულება: 3 წვეთ ბორაქსის ხსნარს უმატებენ 3 წვეთ BaCl_2 -ის ხსნარს.

2. ეთილის სპირტი და კონცენტრირებული H_2SO_4 მშრალი ბორის მჟავასთან ან მშრალ ბორატებთან ურთიერთმოქმედებისას წარმოქმნის ბორეთილის ეთერს, რომელიც კაშკაშა მწვანე ფერის ალით იწვის:

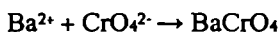
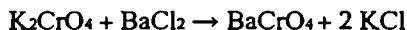


რეაქციის შესრულება: ფაიფურის ჯამში ან ტიგელში გამოშრობამდე აორთქლებენ 10 წვეთ ბორაქსის ხსნარს. მშრალ ნაშთს აცივენ, უმატებენ 5 წვეთ კონცენტრირებულ H_2SO_4 -ს, 15 წვეთ სპირტს (95 %), ნარევს ურევენ მინის წკირით და უკიდებენ ცეცხლს. ბორატ იონების არსებობის შემთხვევაში ალს კაშკაშა მწვანე შეფერილობა აქვს.

კერძო რეაქციები ქრომატ-იონზე CrO_4^{2-} ;

1. ბარიუმის ქლორიდი BaCl_2 ქრომატებთან ურთიერთმოქმე-

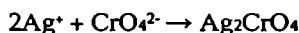
დებისას წარმოქმნის ბარიუმის ქრომატის ყვითელი ფერის ნალექს:



ნალექი იხსნება მინერალურ მჟავებში. ძმარმჟავაში იგი უხსნადია. CrO_4^{2-} იონი $BaCl_2$ -თან ნალექს წარმოქმნის მხოლოდ CH_3COONa -ის თანაობისას.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ K_2CrO_4 -ის ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ $BaCl_2$ -ს. ამოწმებენ HNO_3 -ში ნალექის ხსნადობას.

2. ვერცხლის ნიტრატი ქრომატებთან ურთიერთმედებისას ვერცხლის ქრომატის მურა-წითელი ფერის ნალექს წარმოქმნის:

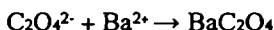
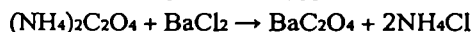


ბიქრომატ-იონები ვერცხლის იონებთან ნალექს არ იძლევა.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ K_2CrO_4 -ის ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ $AgNO_3$ -ის ხსნარს. ამოწმებენ გამოყოფილი ნალექის ხსნადობას HNO_3 -ში.

კერძო რეაქციები ოქსალატ-იონზე $C_2O_4^{2-}$;

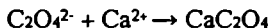
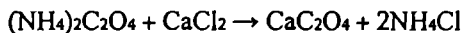
1. ბარიუმის ქლორიდი $BaCl_2$ ოქსალატ-იონებთან წარმოქმნის ბარიუმის ოქსალატის თეთრი ფერის ნალექს:



ნალექი იხსნება HCl -სა და HNO_3 -ში, ხოლო გაცხელებით CH_3COOH -ში.

რეაქციის შესრულება: ამონიუმის ოქსალატის 5 წვეთს უმატებენ იგივე რაოდენობის $BaCl_2$ -ს. ნალექს ყოფენ ორ ნაწილად და ამოწმებენ მის ხსნადობას HCl -სა და HNO_3 -ში, ხოლო გაცხელებით CH_3COOH -ში.

2. კალციუმის ქლორიდი $CaCl_2$ ოქსალატ-იონებთან წარმოქმნის კალციუმის ოქსალატის თეთრი ფერის კრისტალურ ნალექს, რომელიც იხსნება მინერალურ მჟავაში და არ იხსნება ძმარმჟავაში:

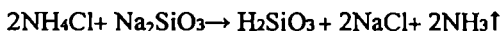


რეაქცია დამახასიათებელია $C_2O_4^{2-}$ იონისათვის.

რეაქციის შესრულება: 3-4 წვეთ ამონიუმის ოქსალატს უმატებენ 4 წვეთ $CaCl_2$ -ს. ნალექის ხსნადობას ამოწმებენ HCl -სა და HNO_3 -ში.

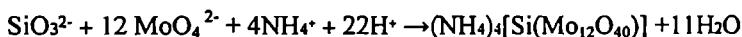
კერძო რეაქციები სილიკატ-იონზე SiO_3^{2-} ;

1. ამონიუმის ქლორიდი NH_4Cl სილიკატის ხსნართან ურთიერთქმედებისას გაცხელებით წარმოქმნის სილიციუმჟავას გელს:



რეაქციის შესრულება: საკვლევი ხსნარის 1-2 მლ-ს უმატებენ 1-2 მლ $2N NH_4Cl$ -ს და ნარევს აცხელებენ ადუღებამდე. სილიკატ-იონის არსებობის შემთხვევაში გამოიყოფა სილიციუმჟავას გელი.

2. ამონიუმის მოლიბდატი ბენზიდინის თანაობისას სილიკატიონებთან SiO_3^{2-} წარმოქმნის $(NH_4)_4[Si(Mo_{12}O_{40})]$ -ის ყვითელი ფერის ნალექს:

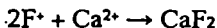
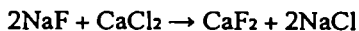


სილიციუმმოლიბდენჟავას პლიერი ჟანგვითი თვისება აქვს. იგი ბენზიდინის აცეტატის მიმატებით წარმოქმნის ლურჯ ფერს, ბენზიდინის დაჟანგვის პროდუქტების წარმოქმნით.

რეაქციის შესრულება: ნატრიუმის სილიკატის HCl და NH_4Cl -თან ურთიერთქმედების შედეგად მიღებული სილიციუმჟავას უმატებენ 3-4 წვეთ ამონიუმის მოლიბდატის ხსნარს და 2-3 წვეთ ბენზიდინის აცეტატს. SiO_3^{2-} იონების არსებობის შემთხვევაში ნალექი ლურჯ ფერს ღებულობს.

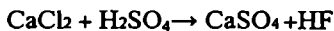
კერძო რეაქციები ფტორიდ-იონზე F^- ;

1. კალციუმის ქლორიდი F^- იონს ლექავს კალციუმის ფტორიდის CaF_2 თეთრი ფერის ლაზისებური ნალექის სახით, რომელიც იხსნება HCl -სა და HNO_3 -ში უხსნადია CH_3COOH -ში.

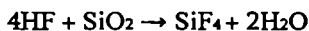


რეაქციის შესრულება: 5-6 წვეთ საკვლევ ხსნარს უმატებენ 5-6 წვეთ 2N CaCl_2 -ს. თეთრი ფერის ნალექის გამოყოფა მიუთითებს F^- იონების არსებობაზე.

2. კონცენტრირებული H_2SO_4 გაცხელებით ადვილად შლის ფტორიდებს ფტორწყალბადის გამოყოფით:



HF რეაგირებს მინის შედგენილობაში შემავალ სილიციუმის ან-ჰიდრიდთან:



სილიციუმის ფტორიდი შლის წყალს ფტორსილიკატ-იონისა და ორთოსილიუმჟეას წარმოქმნით:

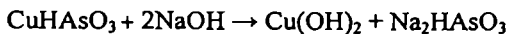
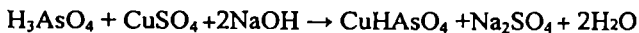
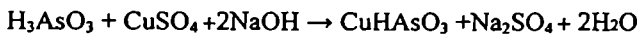


რეაქციის შესრულება: სინჯარაში ათავსებენ მშრალ ფტორიდს და 3-4 წვეთ კონცენტრირებულ H_2SO_4 -ს, შემდეგ მასში ჩაუშვებენ წყალში დასველებული მინის წკირს ისე, რომ იგი ნარევეს ეხებოდეს. სინჯარას ოდნავ ათბობენ. F^- -იონების არსებობის შემთხვევაში წყალი მინის წკირზე იმღვრება.

კერძო რეაქციები არსენიტ- და არსენატ-იონებზე AsO_3^{3-} და AsO_4^{3-}

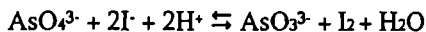
1. სპილენძის სულფატის ამიაკური ხსნარი – სპილენძის ტეტრაამიაკატი $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ არსენიტებთან წარმოქმნის სპილენძის არსენიტის $\text{Cu}_3(\text{AsO}_3)_2$ მომწვანო-ყვითელი ფერის ნალექს, ხოლო არსენატებთან – სპილენძის არსენატის $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$ ცისფერ ნალექს. ორივე ნალექი ამიაკის ხსნარში იხსნება და იგი ლურჯად იფერება. სპილენძის არსენიტის ამიაკური ხსნარის დუღილით გამოიყოფა სპილენძის (I) ოქსიდის წითელი ფერის ნალექი. ეს რეაქცია საშუალებას იძლევა ერთმანეთისაგან განვასხვაოთ AsO_3^{3-} და AsO_4^{3-} , ვინაიდან სპილენძის არსენატის ამიაკური ხსნარი არ წარმოქმნის Cu_2O -ს ნალექს.

ამიაკის ნაცვლად შეიძლება ტუტის ხსნარის გამოყენება:



რეაქციის შესრულება: 2-3 წვეთ საკვლევ ხსნარს წვეთ-წვეთობით უმატებენ 0,1N CuSO_4 -ს. სამვალენტიანი დარიშხანის იონების არსებობის შემთხვევაში გამოიყოფა მომწვანო-ყვითელი ფერის ნალექი. ხოლო ხუთვალენტიანის შემთხვევაში – ცისფერი. ნარევის აცენტრიფუგირებენ, ნალექს ხსნარისაგან აცილებენ და ამუშავენ კონცენტრირებული ამიაკით. ნალექი იხსნება. მიღებულ ხსნარს ადუღებენ. სამვალენტიანი დარიშხანის არსებობის შემთხვევაში გამოიყოფა Cu_2O -ს წითელი ფერის ნალექი.

2. კალიუმის იოდიდი KI მჟავა გარემოში არსენატებს არსენიტებად აღადგენს:



რეაქციის შესრულება: 2-3 წვეთ საკვლევ ხსნარს უმატებენ იმავე რაოდენობის 2N CH_3COOH -ს, KI-სა და სახამებლის 1%-იანი ხსნარის წვეთებს. ხსნარს ანჯღრევენ. ხსნარის გაღურება As^{+3} ნაერთის არსებობის მაჩვენებელია

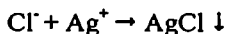
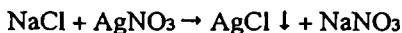
3. მაგნეზიალური ნარევი ($\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$) არსენატებთან წარმოქმნის თეთრი ფერის კრისტალურ ნალექს $\text{MgNH}_4\text{AsO}_4$. არსენიტები კი ამ რეაქციაში არ შედის.

რეაქციის შესრულება: 3-5 წვეთ 2N MgCl_2 -ს უმატებენ 2N NH_4OH -ს ნალექის გამოყოფამდე, შემდეგ კი 2N NH_4Cl -ს ნალექის გახსნამდე. მიღებულ ნარევის უმატებენ 3-5 წვეთ საკვლევ ხსნარს. ნარევის შეანჯღრევნ მინის წკირის ხახუნით სინჯარის კედლებზე. AsO_4^{3-} არსებობის შემთხვევაში გამოიყოფა თეთრი ფერის კრისტალური ნალექი $\text{MgNH}_4\text{AsO}_4$.

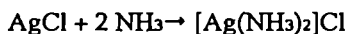
2.9.2. მეორე ანალიზური ჯგუფის ანიონების რეაქციები

კერძო რეაქციები ქლორიდ-იონებზე Cl^-

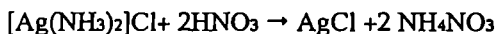
1. ვერცხლის ნიტრატი AgNO_3 Cl^- -იონთან წარმოქმნის ვერცხლის ქლორიდს თეთრი ფერის ხაჭოსებურ ნალექს:



ნალექი უხსნადია HNO_3 -ში, მაგრამ ადვილად იხსნება NH_3 -ში კომპლექსური ნაერთის წარმოქმნით:



თუ მასზე ვიმოქმედებთ კონცენტრირებული HNO_3 -ით, ნალექი კვლავ წარმოიქმნება:

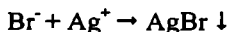
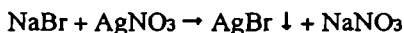


AgCl ადვილად იხსნება ნატრიუმის თიოსულფატში.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ NaCl -ს ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ AgNO_3 -ის ხსნარს. ნალექიან ხსნარს უმატებენ NH_3 -ის კონცენტრირებულ ხსნარს ნალექის სრულ გახსნამდე. მიღებულ ხსნარს შეამყავებენ კონცენტრირებული HNO_3 -ით და აკვირდებიან ნალექის გამოყოფას.

კერძო რეაქციები ბრომიდ-იონებზე Br^-

1. ვერცხლის ნიტრატი AgNO_3 ბრომიდ-იონებთან წარმოქმნის ვერცხლის ბრომიდის მოყვითალო-თეთრი ფერის ნალექს:



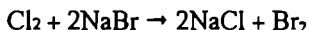
ნალექი HNO_3 -ში არ იხსნება, ცუდად იხსნება ამიაკის ხსნარში, ხოლო თიოსულფატის $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის ხსნარში კი კარგად იხსნება:



რეაქციის შესრულება: 4 წვეთ NaBr -ის ხსნარს უმატებენ 4 წვეთ AgNO_3 -ის ხსნარს. ნალექიან ხსნარს ყოფენ 2 ნაწილად. ერთ ნაწილს უმატებენ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის ხსნარს, ხოლო მეორეს NH_3 -ის კონცენტრირებულ ხსნარს და ერთმანეთს ადარებენ ვერცხლის ბრომიდის

ნალექის ხსნადობას ორივე ნაწილში.

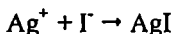
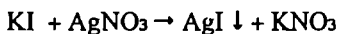
2. ბრომიდის ხსნარზე ქლორიანი წყლის დამატებით გამოიყოფა თავისუფალი ბრომი, რომლიც იხსნება გოგირდნახშირბადში ან ქლოროფორმში და გამხსნელის შრეს ნარინჯისფერად ფერავს:



რეაქციის შესრულება: 3 წვეთ NaBr -ის ხსნარს უმატებენ 0,5 მლ ქლოროფორმს (ან გოგირდნახშირბადს) და წვეთ-წვეთობით, ენერგიული შენჯღრევით 2-3 წვეთ ქლორიან წყალს, აკვირდებიან ქლოროფორმის შრის შეფერვას.

კერძო რეაქციები იოდიდ-იონზე I^-

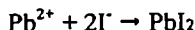
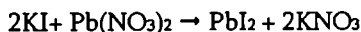
1. ვერცხლის ნიტრატი იოდიდ-იონებთან I^- წარმოქმნის ვერცხლის იოდიდის ღია ყვითელი ფერის ხაჭოსებურ ნალექს:



ნალექი იხსნება HNO_3 -სა და NH_3 -ის ხსნარში, ხოლო $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის ხსნარში კი ძნელად იხსნება.

რეაქციის შესრულება: კალიუმის იოდიდის ხსნარს უმატებენ მცირეოდენ AgNO_3 -ის ხსნარს და მიიღება ღია ყვითელი ფერის ნალექი.

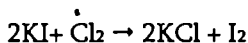
2. ტყვიის (II) ნიტრატი ან აცეტატი იოდიდების ხსნარებიდან გამოყოფს ტყვიის (II) იოდიდის ყვითელი ფერის ნალექს, რომელიც ცხელ წყალში იხსნება და ხსნარის გაცივების შემდეგ გამოიყოფა ოქროსფერი კრისტალების სახით:



რეაქციის შესრულება: 3 წვეთ KI -ის ხსნარს უმატებენ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ -ის ხსნარის 2-3 წვეთს. წარმოქმნილ ყვითელ ნალექს უმატებენ 1 მლ წყალს, 2-3 წვეთ ძმარმჟავას და აცხელებენ ნალექის სრულ გახსნამდე. მიღებულ ხსნარს აცივებენ და აკვირდებიან PbI_2 -ის ოქროსფერი კრისტალების წარმოქმნას.

3. ქლორიანი წყალი იოდიდების ხსნარებიდან გამოყოფს თავი-

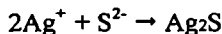
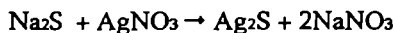
სუფალ იოდს, რომელიც გოგირდნახშირბადს ან ქლოროფორმს ფერავს მოწითალო-იისფერად, ხოლო სახამებლის ხსნარს - ლურჯად:



რეაქციის შესრულება: 3 წვეთ KI-ის ხსნარს შეამჯავებენ 1 წვეთი განზავებული H_2SO_4 -ით, უმატებენ 0,5 მლ ქლოროფორმს წვეთ-წვეთობით და ენერგიული შენჯღრევით, 2-3 წვეთ ქლორიან წყალს. აკვირდებიან ქლოროფორმის შრის შეფერვას. მეორე სინჯარაში ათავსებენ 1 წვეთ KI-ის ხსნარს, 1 წვეთ ქლორიან წყალს და 2 წვეთ სახამებლის ხსნარს. აკვირდებიან ხსნარის ლურჯად შეფერვას.

კერძო რეაქციები სულფიდ-იონზე S^{2-}

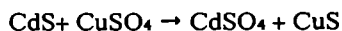
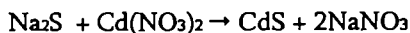
1. ვერცხლის ნიტრატი S^{2-} -იონთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ვერცხლის სულფიდის შავი ფერის ნალექს:



Ag_2S არ იხსნება ცივ განზავებულ HNO_3 -ში, მაგრამ იხსნება დუდილის პირობებში. NH_3 -ის ხსნარი არ იხსნება.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ Na_2S -ის ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ $AgNO_3$ -ის ხსნარს და აკვირდებიან ნალექის გამოყოფას.

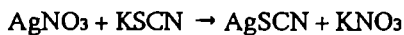
2. კადმიუმის ხსნადი მარილები სულფიდებთან წარმოქმნის CdS -ის კაშკაშა ყვითელი ფერის ნალექს. თუ ამ ნალექზე ვიმოქმედებთ $CuSO_4$ -ის ხსნარით, იგი გაშავდება CuS -ის წარმოქმნის გამო:



რეაქციის შესრულება: 3 წვეთ Na_2S -ის ხსნარს უმატებენ 3 წვეთ კადმიუმის მარილის ხსნარს. აცენრიფუგირებენ და ცენტრიფუგატს გადაღვრიან; ნალექს უმატებენ $CuSO_4$ -ის ხსნარის 2-3 წვეთს. აკვირდებიან კაშკაშა ყვითელი ფერის გადასვლას შავში.

კერძო რეაქციები როდანიდ-იონზე SCN^-

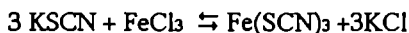
1. ვერცხლის ნიტრატი როდანიდ-იონებთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ვერცხლის როდანიდის თეთრი ფერის ნალექს:



ნალექი იხსნება NH_3 -ში და უხსნადია განზავებულ HNO_3 -ში.

რეაქციის შესრულება: 2 წვეთ KSCN -ის ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ AgNO_3 -ის ხსნარს. წარმოქმნილი ნალექების ხსნადობას ამოწმებენ ამიაკის კონცენტრირებულ ხსნარში.

2. რკინის (III) მარილები როდანიდ-იონებთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის რკინის როდანიდური კომპლექსის სისხლისფერ-წითელ შეფერვას:



რეაქციის შესრულება: სასაგნე მინაზე ათავსებენ 2 წვეთ KSCN -ის ხსნარს და 1 წვეთ FeCl_3 -ის ხსნარს.

ჩანაწერის ფორმა

2.9.3. მესამე ანალიზური ჯგუფის ანიონების რეაქციები

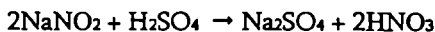
კერძო რეაქციები ნიტრიტ-იონებზე NO_2^-

1. გრისი-ლუნგეს რეაქტივი (სულფანილის მჟავას და α -ნაფტილ-ამინის ნარევი) ნიტრიტ-იონის მცირე რაოდენობასთან ურთიერთმოქმედებისას იძლევა წითელ შეფერვას, ნიტრიტის დიდი შემცველობის შემთხვევაში კი წითელი ფერის ნალექი მიიღება.

რეაქციის შესრულება: სინჯარაში ათავსებენ 3 წვეთ დისტილირებულ წყალს, უმატებენ 1 წვეთ NaNO_2 -ის ხსნარს, შემდეგ 1-2 წვეთ გრისის რეაქტივის ხსნარს და აკვირდებიან წითელი ფერის ნალექის გამოჩენას.

2. განზავებული გოგირდმჟავა ნიტრიტებს შლის და გამოყოფს

NO-ს, რომელიც უერთდება ჰაერის ჟანგბადს და წარმოქმნის აზოტის დიოქსიდის NO₂-ის წაბლისფერ აირს.



ამ რეაქციას ნიტრატები არ იძლევა.

რეაქციის შესრულება: სინჯარაში ათავსებენ 2-3 წვეთ დისტილირებულ წყალს, უმატებენ 3-4 წვეთ NaNO₂-ის ხსნარს, 2 წვეთ განზავებულ H₂SO₄-ს. აკვირდებიან წაბლისფერი აირის წარმოქმნას.

კერძო რეაქციები ნიტრატ-იონებზე NO₃⁻

1. რკინის (II) სულფატი FeSO₄ აზოტმჟავით ან მისი მარილებით იჟანგება. ამ დროს გამოიყოფა აზოტის (II) ოქსიდი NO. რეაქცია მიდის კონცენტრირებული H₂SO₄-ის თანაობისას:



FeSO₄-თან NO წარმოქმნის მურა ფერის ნაერთს [Fe(NO)]SO₄. ვინაიდან ასეთი რეაქცია დამახასიათებელია NO₂⁻-იონისთვისაც, ამიტომ NO₃⁻ და NO₂⁻-იონებს ერთმანეთისაგან ანსხვავებენ რეაქციის მიმდინარეობის ხასიათით. თუ არ არის ცნობილი საკვლევ ხსნარი ნიტრატია თუ ნიტრიტი, თავდაპირველად რეაქციას ატარებენ განზავებული H₂SO₄-ის თანაობისას. მიღებული მურა ნაერთი NO₂-იონის არსებობას ადასტურებს. საწინააღმდეგო შემთხვევაში რეაქციას იმეორებენ კონცენტრირებული H₂SO₄-ის თანაობისას. მურა რგოლის წარმოქმნა NO₃⁻-იონის არსებობაზე მიუთითებს.

რეაქციის შესრულება: სინჯარაში ათავსებენ 2-3 წვეთ წყალს და მშრალი FeSO₄-ის 2-3 კრისტალს. უმატებენ 2 წვეთ NaNO₃-ის ხსნარს და სინჯარას აცივებენ წყლის ნაკადის ქვეშ ფრთხილად, სითხეების ერთმანეთთან შეურევლად, სინჯარის კედლის გაყოლებით უმატებენ 2-3 წვეთ კონცენტრირებულ H₂SO₄-ს, სითხეების შეხების ადგილას წარმოიქმნება მურა რგოლი.

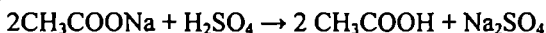
2. დიფენილამინი (C₆H₅)₂NH მჟავა გარემოში იჟანგება აზოტმჟა-

ვით, რის შედეგად ხსნარი შეიფერება ინტენსიურ ლურჯ ფერად.

რეაქციის შესრულება: გარეცხილ და მშრალ სასაგნე მინაზე ათავსებენ 3-4 წვეთ დიფენილამინის ხსნარს, დამზადებულს კონცენტრირებულ H_2SO_4 -ში და უმატებენ 1 წვეთ ნიტრატის ხსნარს. მორევის შემდეგ აკვირდებიან ინტენსიური ლურჯი ფერის წარმოქმნას.

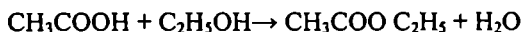
კერძო რეაქციები აცეტატ-იონზე CH_3COO^-

1. გოგირდმჟავა მმარმჟავას აძეგებს მისი მარილებიდან, რაც შეიძლება აღმოვაჩინოთ დამახასიათებელი სუნით, განსაკუთრებით გაცხელების დროს:



რეაქციის შესრულება: სინჯარაში ათავსებენ 6-8 წვეთ CH_3COONa -ის ხსნარს და 6 წვეთ H_2SO_4 -ს. ნარევს აცხელებენ.

2. ეთილის სპირტი C_2H_5OH მმარმჟავასთან და მის მარილებთან კონცენტრირებული H_2SO_4 -ის თანაობისას, წარმოქმნის ეთილაცეტატს, რომელსაც აღმოაჩენენ დამახასიათებელი სასიამოვნო სუნით:



რეაქციის შესრულება: 8-10 წვეთ CH_3COOH -ის ხსნარს უმატებენ 8 წვეთ კონცენტრირებულ H_2SO_4 -ს და C_2H_5OH -ს. ნარევს აცხელებენ წყლის აბაზანაზე, რის შემდეგაც სინჯარის შიგთავსს ასხამენ ცივ წყლიან ჭიქაში. შეიგრძნობა მმარმჟავაეთილის ეთერის სასიამოვნო სუნი.

2.9.4. I, II და III ანალიზური ჯგუფების ანიონების ნარევის ანალიზი

საკვლევ ხსნარში შეიძლება იყოს შემდეგი ანიონები: SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , BO_2^- ($B_2O_3^{2-}$), CrO_4^{2-} ($Cr_2O_7^{2-}$), $C_2O_4^{2-}$, SiO_3^{2-} , F^- , AsO_3^{3-} (AsO_4^{3-}), Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} , SCN^- , NO_2^- , NO_3^- , CH_3COO^- .

ანიონების უმრავლესობა ერთმანეთის აღმოჩნას ხელს არ უშლის. ამიტომ მათი დაცილება არ არის აუცილებელი. ანიონების აღმოჩენა, როგორც წესი საკვლევი ხსნარის ცალკე ულუფებში ახდენენ. ანიონების ნარევის ანალიზისათვის იღებენ მათი კალიუმის, ნატრიუმის ან ამონიუმის მარილების ხსნარებს.

წინასწარი ცდები:

ზოგიერთ ანიონის არსებობა -არარსებობის შესახებ დასკვნის გაკეთება შეიძლება წინასწარი ცდის საფუძველზე.

1. გარეგნული სახის აღწერა. თუ ხსნარი უფეროა, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მასში არ არის შეფერილი CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ - იონები (ყვითელი ან ნარინჯისფერი), MnO_4^- (იისფერი).

2. ხსნარის გარემოს რეაქციის განსაზღვრა. ხსნარის pH-ს საზღვრავენ უნივერსალური ინდიკატორული ქაღალდის საშუალებით. თუ $\text{OH}=2$, მაშინ ხსნარში არ არის SO_3^{2-} , CO_3^{2-} , NO_2^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^{2-} იონები. ტუტე გარემოში შესაძლებელია ყველა ანიონის არსებობა.

3. სინჯი I ანალიზური ჯგუფის ანიონების არსებობაზე. $\text{pH}=7-9$ მქონე საკვლევი ხსნარის 2 წვეთს უმატებენ BaCl_2 -ის ხსნარს. თეთრი ნალექის წარმოქმნა მიუთითებს I ანალიზური ჯგუფის ერთი ან რამდენიმე ანიონის არსებობას.

4. სინჯი II ანალიზური ჯგუფის ანიონების არსებობაზე. 2 წვეთ საკვლევ ხსნარს შეაყავებენ 2N HNO_3 -ით მჟავე რეაქციაზე და უმატებენ 3-4 წვეთ AgNO_3 -ის ხსნარს. ნალექის წარმოქმნა მიუთითებს II ანალიზური ჯგუფის ანიონების არსებობაზე.

5. სინჯი ანიონ-აღმდგენის არსებობაზე. 5 წვეთ საკვლევ ხსნარს შეამჟავებენ $2\text{N H}_2\text{SO}_4$ -ით და წვეთ-წვეტობით უმატებენ $0,1\text{N KMnO}_4$ -ის (ან იოდის) ხსნარს. ყოველი წვეთის დამატებისას სინჯარას შეანჯღრევენ. KMnO_4 -ის (I_2) ხსნარის გაუფერულება ერთ ან რამდენიმე იონაღმდგენლის (S^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, AsO_3^{3-} , NO_2^- , I^- , Br^- , Cl^-) არსებობაზე მიუთითებს.

6. სინჯი ანიონ-მჟანგავის არსებობაზე. 3 წვეთ საკვლევ ხსნარს შეამჟავებენ 1-2 წვეთი $2\text{N H}_2\text{SO}_4$ -ით. უმატებენ 4-5 წვეთ ქლორო-

ფორმის და 1 წვეთ KI-ის ხსნარს. ხსნარს შეანჯღრევენ. ქლოროფორმს შრის შეფერვა ჟოლოსფერ-იისფრად მიუთითებს NO_2^- , NO_3^- , CrO_4^{2-} ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), AsO_4^{3-} - იონების არსებობაზე. არ შეიძლება ხსნარში ერთდროულად არსებობდეს ძლიერ მჟანგავი იონები და ძლიერ აღმდგენი იონები. მაგალითად CrO_4^{2-} და I^- .

7. სინჯი აქროლადი მჟავების არსებობაზე. 6 წვეთ საკვლევ ხსნარს შეამჯავებენ 5 წვეთი 2N H_2SO_4 -ით. აირის ბუშტების აქტიური გამოყოფა მიუთითებს ხსნარში CO_3^{2-} - იონის არსებობას. თუ გამოყოფილი გოგირდისაგან ხსნარი შეიმღვრევა და იგრძნობა SO_2 -ის სპეციფიკური სუნი. მაშინ საქმე გვაქვს $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონებთან. ლაყე კვერცხის სუნის მქონე აირის გამოყოფა გვიჩვენებს ხსნარში სულფიდიონის S^{2-} არსებობას. მურა ფერის მკვეთრი სუნის მქონე აირის გამოყოფა ადასტურებს ხსნარში ნიტრიტ-იონების არსებობას. ხოლო ძმარ-მჟავას დამახასიათებელი სუნი ხსნარში აცეტატ-იონის CH_3COO^- არსებობას ადასტურებს.

წინასწარი ცდის ჩატარების შემდეგ შეიძლება დასკვნის გაკეთება ხსნარში ზოგიერთი ანიონის არსებობისა და ზოგიერთი სავარაუდო არსებობის შესახებ. ამის შემდეგ ახდენენ ანიონების აღმოჩენას.

ვინაიდან ზოგიერთი იონის აღმოჩენას სხვა იონები უშლის ხელს, რიგ შემთხვევაში, აუცილებელია იონების დაყოფა და ხელისშემშლელი იონების მოცილება.

პირველი ანალიზური ჯგუფის ანიონების აღმოჩენა.

ანიონი SO_4^{2-} საკვლევი ხსნარის 2 წვეთს უმატებენ 1-2 წვეთ BaCl_2 -ის ხსნარს. ამოწმებენ მიღებული ნალექის ხსნადობას 2N HCl ან 2N HNO_3 -ჭარბ მჟავაში ნალექის უხსნადობა მიუთითებს SO_4^{2-} - იონების არსებობაზე.

ანიონები SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^{2-} , - მიუხედავად იმისა, რომ სულფიდ იონი S^{2-} მეორე ანალიზურ ჯგუფს მიეკუთვნება, მისი აღმოჩენა ხდება SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონებთან ერთად.

ა) ანიონები SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^{2-} - მიუხედავად ომისა, რომ სულფიდ იონი S^{2-} მეორე ანალიზურ ჯგუფს მიეკუთვნება, მისი აღმოჩენა ხდება SO_3^{2-} და $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონებთან ერთად. იონის დაცილება და აღმოჩენა. საცენტრიფუგო სინჯარაში 20 წვეთ საკვლევ ხსნარს ათავსებენ და უმატებენ SrCl_2 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ -ს სრულ დალექვამდე. სინჯარას აყოფნებენ 10-15 წუთით და აცენტრიფუგებენ. აცილებენ ცენტრიფუგატს, ნარევებს რეცხავენ დისტილირებული წყლით 3-4 ჯერ. ნალექი შეიძლება შეიცავდეს SrSO_4 , SrCO_3 და სტრონციუმის სხვა, ძნელად ხსნად მარილებს. ჩარეცხილ ნალექს ამუშავებენ განზავებული HCl -ით. მიღებულ ხსნარს წვეთ-წვეთობით უმატებენ იოდთან წყალს, რომლის გაუფერულება SO_3^{2-} - იონის არსებობას მიუთითებს.

ბ) S^{2-} -იონის დაცილება და აღმოჩენა. Sr -ის მარილებისგან განთავისუფლებულ ცენტრიფუგატს (გარემო ნეიტრალური ან სუსტი ტუტე უნდა იყოს). უმატებენ კადმიუმის მარილის ხსნარს, ყვითელი ფერის ნალექის გამოყოფა S^{2-} -იონის არსებობას მიუთითებს. აღწევნ დალექვის სისრულეს და აცენტრიფუგებენ. ცენტრიფუგატს აცილებენ და ნალექს რეცხავენ. ამის შემდეგ ნალექს უმატებენ 1-2 წვეთ CuSO_4 -ის ხსნარს. სულფიდ-იონის არსებობის შემთხვევაში ნალექი შავ ფერს ღებულობს.

გ) SO_3^{2-} - იონის აღმოჩენა. კადმიუმის მარილებიდან განთავისუფლებული ცენტრიფუგატი შეიცავს $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონებსა და სხვა ანიონებს, რომლებიც მის აღმოჩენას ხელს არ შეუშლის. 3 წვეთ ცენტრიფუგატს უმატებენ 4-5 წვეთ AgNO_3 -ს. გამოყოფილი თეთრი ფერის ნალექი, რომელიც თაბდათან იცვლის ფერს და ხდება ჯერ ყვითელი, შემდეგ მურა და ბოლოს შავი ფერის $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ იონის არსებობას მიუთითებს.

ანიონი CO_3^{2-} . CO_3^{2-} -იონის აღმოჩენას ხელს უშლის SO_3^{2-} და $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონები. მაშინ CO_3^{2-} - იონის აღმოსაჩენად SO_3^{2-} და $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონები უნდა მოცილდეს ხსნარს, რასაც აღწევენ მათი წინასწარი დაჟანგვით: სინჯარაში ათავსებენ 5-6 წვეთ საკვლევ ხსნარს. 10-12 წვეთ

3% H_2O_2 -ს და აცხელებენ წყლის აბაზანაზე. მიღებულ ხსნარს ათავსებენ აირების აღმოსაჩენ ხელსაწყოში, უმატებენ 10 წვეთ 2N HCl -ს და აკვირდებიან CO_2 -ის გამოყოფას, რომელმაც უნდა შეამღვრიოს $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ან $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -ის ნაჯერი ხსნარი.

ანიონები CrO_4^{2-} და CrO_7^{2-} . თუ ხსნარს ყვითელად ან ნარინჯისფრად არის შეფერილი, მასში შესაძლებელია მასში არსებობდეს CrO_4^{2-} და CrO_7^{2-} - იონები. 5 წვეთ წყალბადის პეროქსიდს უმატებენ 3 წვეთ H_2SO_4 -ს, 8 წვეთ ეთერს, 2-3 წვეთ საკვლევ ხსნარს და სინჯარას ანჯღრევენ. ეთერის შრეში თუ ინტენსიური ლურჯი ფერი მიიღება, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ წარმოიქმნა ზეჟმრომჟავა.

ანიონი PO_4^{3-} . მოლიბდენის სითხით PO_4^{3-} - იონის აღმოსაჩენად, პირველ რიგში საჭიროა SO_3^{2-} , S^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ - იონების მოცილება. ამისათვის 2 წვეთ საკვლევ ხსნარს უმატებენ 1 წვეთ $\text{HNO}_3(1:1)$ და ხსნარს აცხელებენ 5-7 წუთის განმავლობაშიო მდუღარე წყლის აბაზანაზე. მიღებულ ხსნარს უმატებენ 10 წვეთ მოლიბდენის სითხეს. ყვითელი ნალექის გამოყოფა PO_4^{3-} -იონის არსებობას ადასტურებს.

ანიონი $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ - 4 წვეთ საკვლევ ხსნარს შეამყავებენ 2N H_2SO_4 -ით (ლაკმუსის მიხედვით) მჟავა რეაქციაზე და კიდევ ჭარბად უმატებენ 3-4 წვეთ ხსნარიან სინჯარას აცხელებენ 5 წუთს მდუღარე წყლის აბაზანაზე. აცივებენ და წვეთ-წვეთობით უმატებენ 0,1N KMnO_4 -ს და ნარევს აცხელებენ. გაცხელების დროს ხსნარის გაუფერულება მიუთითებს $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ -იონის არსებობას.

ანიონი BO_2^- ($\text{B}_2\text{O}_7^{2-}$). 1 მლ ხსნარს აორთქლებენ გამომშრობამდე. მშრალ ნაშთს ასველებენ 1 მლმეთილის სპირტით და 3-5 წვეთი $\text{H}_2\text{S}-\text{O}_4$ -ით. ნარევს ურევენ მინის წკირით და ამწოვ კარადაში უკიდებენ ცეცხლს. ბორშემცველი ანიონის არსებობის შემთხვევაში ალი ღბულობს მწვანე ფერს.

ანიონი SiO_3^{2-} - 1 მლ საწყის ხსნარს უმატებენ 1 მლ NH_4Cl -ის ხსნარს. ნარევს ადუღებამდე აცხელებენ. ნალექის გამოყოფა SiO_3^{2-} - იონის არსებობის ნიშანია.

ანიონი F^- - 5-6 წვეთ საწყის ხსნარს უმატებენ 5-6 წვეთ $2N$ $CaCl_2$ -ს. ლაზისებრი ნალექის გამოყოფა F^- -იონის არსებობაზე მიუთითებს.

II ანალიზური ჯგუფის ანიონების აღმოჩენა

ანიონები Br^- და I^- . მათი აღმოჩენა ერთდროულად ხდება. მეთოდის არჩევანს განაპირობებს საკვლევე ხსნარში აღმდგენელი იონების არსებობა - არარსებობა.

ა) აღმდგენელი იონების არარსებობა. სინჯარაში ათავსებენ 3 წვეთ საკვლევე ხსნარს. შეამჯავებენ 1 წვეთი $2N$ H_2SO_4 -ით. უმატებენ 0,5 მლ ქლოროფორმს. ქლორიან წყალს წვეთ-წვეთობით და ყოველი წვეთის დამატებისას სინჯარას ანჯღრევენ. ჯერ აკვირდებიან ქლოროფორმის შრის ჟოლოსფრად შეფერვას, რაც I^- -იონის არსებობის ნიშანია. ქლორიანი წყლის შემდგომი დამატებისას ყვითლი ფერის წარმოქმნა ადასტურებს ხსნარში ბრომიდ-იონის არსებობას.

ბ) აღმდგენელი იონების არსებობა. Br^- და I^- -იონების ქლორიანი წყლით აღმოჩენას ხელს უშლის ხსნარში არსებული S^{2-} , SO_3^{2-} და $S_2O_3^{2-}$ - იონები, რომლებიც მოქმედებს ქლორიან წყალთან. ამიტომ საჭიროა ხსნარიდან ამ იონების მოცილება, რისთვისაც 8-10 წვეთ საკვლევე ხსნარს შეამჯავებენ $2N$ H_2SO_4 -ით და 10 წუთის განმავლობაში აცხელებენ მდუღარე წყლის აბაზანაზე. ხელის შემშლელი იონების მოცილების სისრულეს ამოწმებენ: ცალკე სინჯარაში 2 წვეთ ხსნარს უმატებენ 1 წვეთ იოდის ხსნარს, თუ იოდი გაუფერულდა, ხსნარის გაცხელებას აგრძელებენ მანამ სანამ მისი ცალკე სინჯი არ შეწყვეტს იოდის გაუფერულებას აგრძელებენ მანამ სანამ ცალკე სინჯი არ შეწყვეტს უიოდის გაუფერულებას. შემდეგ ხსნარს აცივენ და აღმოაჩენენ Br^- და I^- -იონებს (პუნქტი ა).

ანიონი Cl^- აღმოჩენის მეთოდისა. ხსნარში Br^- და I^- -იონების არსებობა არარსებობაზეა დამოკიდებული:

ა) Br^- და I^- -იონების არარსებობისას Cl^- -იონს ასე აღმოაჩენენ. 2

წვეთ საკვლევე ხსნარს უმატებენ 2 წვეთ HNO_3 -ს და 1-2 წვეთ AgNO_3 -ს. წარმოიქმნება თეთრი ხაჭოსებრი ნალექი. ნალექს უმატებენ ამიაკის კონცენტრირებულ ხსნარს სრულ გახსნამდე. შემდეგ $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ -ის შემცველ ხსნარს წვეთ-წვეთობით, ჭარბად უმატებენ კონცენტრირებულ HNO_3 -ს. თეთრი ნალექის გამოყოფა Cl^- -ის იონების არსებობის ნიშანია.

ბ) Br^- და I^- -იონების არსებობისას Cl^- -იონის აღმოჩენა დაფუძნებულია AgCl , AgBr და AgI -ის $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ში განსხვავებულ ხსნადობაზე.

დასახელებული ვერცხლის ჰალოგენებიდან მხოლოდ AgCl იხსნება $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ში კომპლექსური ნაერთის წარმოქმნით. რაც საშუალებას Cl^- -იონები გამოეყოს სხვა ჰალოგენიდებს. სინჯარაში ათავსებენ 3 წვეთ საკვლევე ხსნარს, შეამუავებენ 1-2 წვეთი HNO_3 -ით და წვეთ-წვეთობით უმატებენ AgNO_3 -ს ჰალოგენიდების სრულ დალექვამდე. ხსნარს აცენტრიფუგებენ და ცენტრიფუგატს აცილებენ. ნალექს ჩარეცხავენ 3-4 ჯერ ცხელი წყლით Ag^+ -იონის მოცილებამდე. შემდეგ ნალექს უმატებენ 5-6 წვეთ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ის 20%-იან ხსნარს. გულმოდგინედ ურევნ მინის წკირით და აცენტრიფუგებენ. გამჟღავნებულ ცენტრიფუგატს უმატებენ კონცენტრირებულ HNO_3 -ს. თეთრი ნალექის წარმოქმნა ან ხსნარის შემღვრევა Cl^- -იონის არსებობაზე მიუთითებს.

ანიონი SCN^- . 1 წვეთ საკვლევე ხსნარს უმატებენ 1 წვეთ რკინის (III) ქლორიდს. როდანიდ-იონის არსებობის შემთხვევაში წარმოიქმნება სისხლისფერ - წითელი შეფერილობა რკინის (III) როდანიდის წარმოქმნის გამო.

III ანალიზური ჯგუფის ანიონების აღმოჩენა

NO_2^- ანიონის აღმოჩენა ხდება შემდეგნაირად: 1 წვეთ საკვლევე ხსნარს უმატებენ თითო-თითო წვეთ კონცენტრირებულ H_2SO_4 -ს და ანტიპირინს. ზურმუხტისფერ - მწვანე შეფერილობის წარმოქმნა

ხსნარში NO_2^- -იონის არსებობას ადასტურებს.

ანიონი NO_3^- . თუ NO_2^- -ის რეაქცია უარყოფითია, მაშინ NO_3^- ანიონს აღმოაჩენენ დიფენილამინის ან რკინის (II) სულფატის მეშვეობით.

NO_2^- და NO_3^- -იონების ერთად არსებობის შემთხვევაში, NO_2^- -იონი ხელს უშლის NO_3^- იონის განსაზღვრა. მის მოსაცილებლად ხსნარს უმატებენ მყარ ამონიუმის ქლორიდს ან სულფატს და ადუღებენ აზოტის ბუშტების გამოყოფის შეწყვეტამდე. NO_3^- -იონს აღმოაჩენენ ზემოთ ნაჩვენები მეთოდით.

CH_3COO^- - იონის აღმოჩენა ხდება ძმარმჟავათილის ეთერის მიღების რეაქციით.

უცნობი ნივთიერების თვისებითი ანალიზი

ანალიზისათვის სინჯი მყარი ან თხევადი (ხსნარის) სახით. ანალიზის დაწყებამდე ატარებენ წინასწარ დაკვირვებასა და ცდებს. იკვლევენ სინჯის ფერს და ერთგვაროვნებას. კრისტალების ფორმას და სხვადასხვა გამხსნელებში ხსნადობას, თუ როგორ იქცევა სანათურის ალში შეტანისას, სინჯარაში გაცხელებისას და მჟავების დამატების დროს.

სინჯის ვიზუალური კვლევა. სინჯის მცირე ნაწილს აკვირდებიან შეუიარაღებელი თვალით და მიკროსკოპში. სინჯარაში ერთგვაროვანი უფერო ან თეთრი კრისტალები ადასტურებს, რომ მასში არ არის შეფერილი კატიონები და ანიონები. ლურჯი კი მიუთითებს სპილენძის მარილების არსებობის შესაძლებლობაზე, ვარდისფერი - კობალტის, მწვანე - რკინის (III) ან ნიკელის, ყვითელი - ქრომატების, ნარინჯისფერი - ბიქრომატების.

სინჯის ქცევა ალში. სინჯის მცირე რაოდენობა პლატინის მათულის მარწუხით შეაქვთ სანათურის ალში. მისი წვა და დანახშირება მეტყველებს ორგანულ ნივთიერებათა არსებობაზე. სწრაფი აორთქლება ამონიუმის მარილების შემცველობაზე მიუთითებს,

ხოლო ალის შეფერვა მოცემული თვისების მქონი კათიონების აღმოჩენაში გვეხმარება.

სინჯარაში გაცხელება. სინჯარის ზედა ნაწილში სინჯის აქროლება ამონიუმის მარილებისა და ზოგიერთი ორგანული ნივთიერების არსებობას ადასტურებს. თუ სინჯარის გაცხელებისას კედლის ზედა ნაწილში კონდენსირდება აორთქლებული სითხის ორთქლი, მაშინ კონდენსატს ცდიან გარემოს რეაქციაზე ინდიკატორული ქაღალდის საშუალებით. მჟავა რეაქცია ძლიერი მჟავების მარილების არსებობას ადასტურებს, ტუტე რეაქცია კი - ამიაკის მარილებისა.

სინჯის ხსნადობა. სინჯის წყალში ხსნადობას ცივ და ცხელ პირობებში იკვლევენ. თუ სინჯი წყალში უხსნადია, მოწმდება მისი ხსნადობა განზავებულ და კონცენტრირებულ მჟავებსა და ტუტეებში. მჟავებში გახსნისას, აირების გამოყოფის შემთხვევაში, მათი სუნით და სხვა თვისებებით საზღვრავენ აირის ხასიათს და დასკვნას აკეთებენ ნივთიერების ტიპის შესახებ. თუ სინჯი არ იხსნება განზავებულ მჟავებში, მოწმდება მისი ხსნადობა თეზაფსა და კონცენტრირებულ მჟავებში. თეზაფი ანუ სამეფო არაყი წარმოადგენს 1 მოცულობა კონცენტრირებულ HNO_3 და 3 მოცულობა კონცენტრირებულ HCl -ის ნარევს. არაორგანული მარილების უმრავლესობა იხსნება წყალში, მჟავებსა და სამეფო არაყში. მარილების უხსნადობა მიუთითებს სტრონციუმის, ბარიუმის, ტყვიის სულფატების. ვერცხლის, ვერცხლისწყლის(I), ტყვიის ჰალოგენიდების, (ალუმინის, ქრომის) სილიციუმის ოქსიდების ან სილიკატების არსებობაზე.

გარემოს რეაქცია. თუ სინჯი იხსნება წყალში, მაშინ გარემოს მჟავა რეაქცია მიუთითებს ძლიერი თავისუფალ მჟავებისა და სუსტი ფუძეების საშუალო ან მჟავა მარილებისა და მჟავების არსებობაზე. ტუტე რეაქცია მეტყველებს ძლიერი ფუძეებისა და სუსტი მჟავების საშუალო და ფუძე მარილებისა და თავისუფალი ტუტეების არსებობაზე.

მჟავების მოქმედება. საკვლევ ხსნარში არსებული მჟავები ან მარილები, როგორიცაა აქროლადი (H_2S , CH_3COOH , HCl), CO_2 , SO_2 , NO_2

ოქსიდებიდ წარმოქმნილი (H_2CO_3 , H_2SO_4 , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$, HNO_2) და აირადი პროდუქტები გამოყოფილი H_2S , Br_2 , (HBr) , I_2 (HI), O_2 , (KClO_3 , KMnO_4 , K_2CrO_4 , H_2O_2), ძლიერი მჟავების მოქმედებით შესაბამის აირებს გამოყოფს Br_2 და I_2 გამოიყოფა მჟანგავების მოქმედებით: CO_2 , SO_2 , H_2S -ს აღმოაჩენენ თვისებითი რეაქციებით: CH_3COOH -მჟრის სუნით; HCl -ს AgNO_3 -ის ხსნარის შემღრევი; Br_2 -მურა - წითელი ფერის ორთქლით; I_2 -ისფერი ორთქლით; O_2 -გაღვივებული კვარის აალებით; გამოყოფილი აირების ხასიათი წარმოადგენს იძლევა სინჯში არსებული ანიონების ტიპზე.

ანალიზის ჩატარება. სინჯს ყოფენ 3 ნაწილად. პირველს ამოწმებენ კატიონებზე. მეორეს - ანიონებზე, ხოლო მესამეს იყენებენ სასინჯი ცდებისათვის სინჯის მცირე რაოდენობაზე ამოწმებენ წყალში ხსნადობას ჯერ ცივ, შემდეგ ცხელ პირობებში. სინჯის წყალში უხსნადობის შემთხვევაში, უმატებენ 2N HCl -ს, შემდეგ ცდილობენ გახსნას 2N HNO_3 -ში, HCl , HNO_3 -ში სამეფო არაყში, ამიაკის ხსნარში სინჯის წყალში ხსნადობის შემთხვევაში, ხსნარში ამოწმებენ გარემოს რეაქციას და შემდეგ ატარებენ ანალიზს. მჟავებში გახსნილი სინჯის ხსნარს ანალიზის წინ ანეიტრალევენ ჰიდროკარბონატით.

მოდებულ ხსნარში კატიონებსა და ანიონებს აღმოაჩენენ ჯგუფური რეაქტივების დახმარებით, ხოლო შემდეგ ახდენენ მათ იდენტიფიკაციას სისტემური ანალიზის სქემის მოხედვით ან წილადური რეაქტივების გამოყენებით.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა უდევს საფუძვლად კატიონების დაყოფის ანალიზის სისტემურ მეთოდებში?
2. რამდენი ანალიზური ჯგუფია გოგირდწყალბადოვან მეთოდში და რომელი ჯგუფური რეაგენტები გამოიყენება?
3. ჩამოთვალეთ უგოგირდწყალბადო მეთოდები. განმარტეთ თითოეული მათგანის არსი?

- 4 რამდენ ჯგუფად იყოფა კათიონები ფთალმჟავა მეთოდში? დაასახელეთ ჯგუფური რეაგენტები?
5. რა უდევს საფუძვლად ანიონების ანალიზურ ჯგუფებად დაყოფას?
6. ჩამოთვალეთ I, II და III ჯგუფებში შემავალი ანიონები.
7. როგორ ხდება ანიონების ნარევის ანალიზის წინასწარი ცდა?
8. როგორ ხდება უცნობი ნივთიერებების თვისებითი ანალიზის წინასწარი ცდა?

თავი 3. რაოდენობითი ანალიზის საგანი

3.1. რაოდენობითი ანალიზის ძირითადი ცნებები

რაოდენობითი ანალიზი ეწოდება კვლევის ქიმიური, ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების ერთობლიობას, რომლებიც საშუალებას იძლევა საანალიზო ნივთიერების სინჯში საჭირო სიზუსტით განისაზღვროს ცალკეული შემადგენელი ნაწილების რაოდენობითი შემცველობა, ან მათი კონცენტრაცია ხსნარში, აგრეთვე დადგენილი იქნას მინარევების შემცველობა საკვლევ ობიექტში.

რაოდენობითი ანალიზის მეთოდების კლასიფიკაცია ხდება განსასაზღვრავი ობიექტის ისეთი მახასიათებლების (თვისებების) მიხედვით, როგორიცაა: ნივთიერების მასა, რეაქტივის ხსნარის მოცულობა, ელემენტის სპექტრული ხაზების ინტენსიურობა, ხილვადი, ინფრაწითელი ან ულტრაიისფერი სხივების შთანთქმა, სინათლის გაბნევა, პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვა, სორბენტების ადსორბციული თვისებები, ხსნარის ელექტროგამტარობა, ელექტრული პოტენციალი, დიფუზიური დენის სიდიდე, რადიაქტიური იმპულსების რიცხვი და სხვა.

რაოდენობითი ანალიზის მეთოდები სამ ჯგუფად იყოფა: ქიმიური, ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური. ორ უკანასკნელს აერთიანებენ ინსტრუმენტული მეთოდების სახელწოდებით.

პრაქტიკაში, ანალიზის ინსტრუმენტული მეთოდების დიდი რაოდენობით არსებობის მიუხედავად, ქიმიური მეთოდები ისევ ფართოდ გამოიყენება. ინსტრუმენტული და ქიმიური მეთოდების სწორი გამოყენების შემთხვევაში ისინი ერთმანეთს ავსებს.

ანალიზის ქიმიური მეთოდები ეფუძნება საკვლევი ნივთიერების ან მათი ქიმიური გარდაქმნის პროდუქტების ან განსასაზღვრავ ნივთიერებებთან რეაქციაში შემავალი დახარჯული რეაქტივების მასისა და მოცულობის ზუსტ გაზომვებს. ანალიზის ქიმიურ

მეთოდებს მიეკუთვნება:

1. გრავიმეტრული (წონითი) ანალიზი, რომელიც დამყარებულია ქიმიურად სუფთა ან შესაბამისი ნაერთების სახით გამოყოფილი საკვლევი ნივთიერების ან მისი შემადგენელი ნაწილების მასის გაზომვაზე.
2. ტიტრომეტრული (მოცულობითი) ანალიზი გულისხმობს თხევადი, მყარი ან აირადი პროდუქტების ან მათი ხსნარების მოცულობის გაზომვას.

ქიმიური ანალიზის მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს საანალიზო სინჯის დაშლა, აგრეთვე საკვლევი ელემენტების (იონების) დაცილება და კონცენტრირება.

3.2. ლაბორატორიული მოწყობილობა, ჭურჭელი

რაოდენობითი ანალიზისათვის (მისი ქიმიური მეთოდებისათვის) საჭიროა შესაბამისი ლაბორატორიული მოწყობილობა და ქიმიური ჭურჭელი. ანალიზური სასწორი წარმოადგენს ზუსტ ასაწონ ხელსაწყოს, რომლის გარეშე შეუძლებელია ქიმიური და ფიზიკა-ქიმიური ანალიზის ჩატარება.

ქიმიურ ანალიზში გამოიყენებენ ხუთი ტიპის სასწორებს:

1. ტექნოქიმიურ (ტექნიკურ) სასწორებს გამოიყენებენ საგნების მიხედვით და ნივთიერებების მასის ასაწონად 1კგ-მდე 0,01 გ სიზუსტით, ხსნარების დასამზადებლად თვისებით და გრავიმეტრულ ანალიზში.
2. ანალიზური სასწორები, დატვირთვის ზღვარი 200 გ-მდე, სიზუსტე 0,0001-მდე.
3. ნახევრადმიკროანალიზური სასწორები, ზღვრული დატვირთვა 100გ, 0,01 მგ სიზუსტით.
4. მიკროანალიზური სასწორები, ზღვრული დატვირთვა 20გ, 0,0001 მგ სიზუსტით.

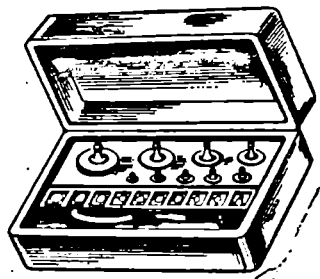
5. ულტრამიკრო სასწორები, ზღვრული დატვირთვა $1\text{ გ } 0,000001\text{ მგ}$ სიზუსტით.

ყველა ჩამოთვლილი სასწორები იყოფა ორჯამიან და ერთჯამიან ტიპის ასაწონ ხელსაწყოებად.

ორჯამიანი ანალიზური სასწორები მოიცავს ტექნოქიმიურსაც, მათ აქვთ ერთიდაიგივე სამუშაო ნაწილები და განსხვავდებიან მხოლოდ ზომებით.

ანალიზური სასწორები მოთავსებულია შემინულ ბუდეში, რომელსაც გვერდებზე აქვს ორი გამოსაღები კარები, ხოლო წინ ასაწევი კედელი.

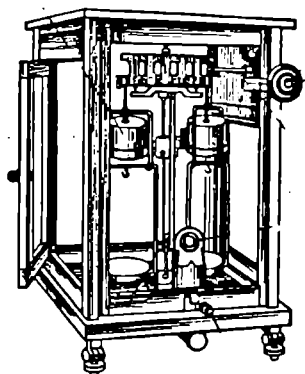
ამჟამად ლაბორატორიებში ყველაზე უფრო გავრცელებულია დემპფერული ელექტროსასწორები, რომლებიც წონაკის სწრაფ და ზუსტად აღების საშუალებას იძლევა. სასწორის სვეტს, ზედა ნაწილში ჩამაგრებული პრიზმის მეშვეობით, ეყრდნობა თანასწორმხრიანი მხრეული, რომელზედაც საყურეების საშუალებით პრიზმებზე დაკიდებულია სასწორის ორი ჯამი, ღრუ ცილინდრის სახის მქონე



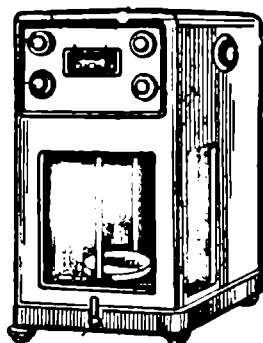
ნახ.11. საწონები

დემპფერული (საჰაერო) მარეგულირებლებით. ეს ცილინდრები ერთმანეთშია ჩადგმული და სასწორის რხევას არეგულირებს. მხარეულზე მიმაგრებულია სასწორის ისარი მიკროსკალით, რომელიც ოპტიკური სისტემისა და ელექტრონათურის საშუალებით აირეკლება მრგვალ ეკრანზე. სასწორის მარჯვენა მხარეს დამაგრებულია თამასა, რომელზეც დისკოიანი ასაწეობი მო-

წყობილობით უშვებენ გარკვეული მასის ანალიზური ნაირსაწონების საშუალებით, ხოლო გრამის მეათედი და მეასედისა კი – დისკოიანი ასაწონი მოწყობილობით და რგოლებით გრამის მეათასედი და მეათიათასედი წილები აითვლება 100 დანაყოფის მქონე მიკროსკოპით.



ნახ.12. ანალიზის ორჯამიანი დემპერული
სასწორი და ნაირსაწონები.



ნახ.13. ანალიზური ერთჯამიანი
დემპერული სასწორი.

არასამუშაო მდგომარეობაში საწონებისა და ტვირთის დადება-აღების ოპერაციების ჩასატარებლად სასწორის მხრეულს აფიქსირებენ სპეციალურ საყრდენებზე არეტირის საშუალებით. სასწორს ათავსებენ კაპიტალურ კედლებში ჩამაგრებულ სპეციალურ კრონ-შტეინებზე დადგმულ თაროებზე.

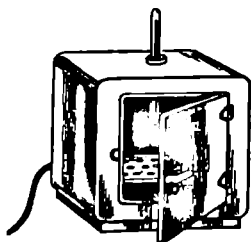
აწონვის დროს აუცილებელია შემდეგი წესების დაცვა:

1. ასაწონ ოთახში არ შეიძლება ინახებოდეს აქროლადი ნივთიერებები.
2. ასაწონი ნივთიერებები უნდა იყვეს მშრალი. მყარი ნივთიერებების წონიან საათის მინით, ტიგელით ან ჭიქით, აქროლად და ჰიგროსკოპულ ნივთიერებას – ბიუქსით.
3. ანალიზურ სასწორზე არ შეიძლება აიწონოს 200გ-ზე მეტი ტვირთი.
4. ასაწონი საგნების ტემპერატურა ოთახის ტემპერატურის ტოლი უნდა იყოს.
5. ასაწონ ნივთიერებებს ათავსებენ სასწორის მარცხენა, ხოლო საწონებს – მარჯვენა ჯამზე.
6. საწონები და ასაწონი საგნები შეაქვთ ტიგელის მაშის ან პინცეტის

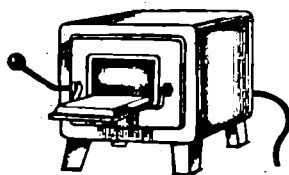
- საშუალებით სასწორის ბუდის გვერდითი კედლებიდან, მათ ჯამებზე დებენ და იღებენ სასწორის სრული არეტირების დროს;
7. სასწორის ნულოვან წერტილს ამოწმებენ ყოველი აწონვის წინ და შემდეგ;
 8. ჯამების რხევის თავიდან ასაცილებლად ასაწონ საგნებსა და საწონებს სასწორის ჯამების შუაში ათავსებენ;
 9. აწონვის დროს ტვირთს ჯერ საწონებით აწონასწორებენ, შემდეგ რგოლებით. მილიგრამებსა და მილიგრამის მეთადებს საზღვრავენ მიკროსკალით.
 10. აწონვის დამთავრებისას, სასწორს აჩერებენ საჩერის მეშვეობით, ჩაიწერენ შედეგს, გადმოიღებენ სასწორის ჯამებიდან საწონებსა და ტვირთს, ასწევენ რგოლებს, გაწმენდენ სასწორის ჯამებს და მიხურავენ ბუდის კარებს.

რაოდენობით ანალიზში გამოიყენება სპეციალური მუფელის ელექტრული ღუმელი, საშრობი კარადები (თერმოსტატები), სპეციალური მინისაგან დამზადებული ჭურჭელი. მუფელის ელექტრული ღუმელი გამოიყენება ნალექების გამოსაწვავად და ნივთიერების შესაღობად. მისი ტემპერატურა 800°C აღწევს. ელექტროგამახურებელ ხელსაწყოებად გამოიყენება სხვადასხვა სახის აბაზანები.

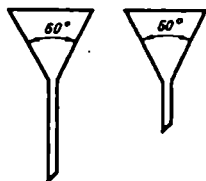
ნალექიან ფილტრებს, ბიუქსებსა და სხვადასხვა მასალებს აშრობენ საშრობ კარადებში, რომლებსაც ტემპერატურის ავტომატური რეგულატორები აქვს.



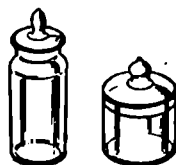
ნახ.14-ა. საშრობი კარადა. (თერმოსტატი)



ნახ.14-ბ. მუფელის ღუმელი.



ნახ.15.მინის ძაბრები.

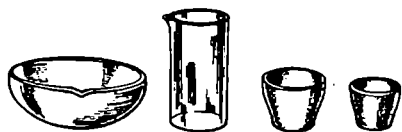


ნახ.16. მინის ბიუქსები.

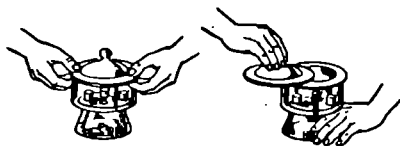
რაოდენობით ანალიზში გამოიყენება სპეციალური მინისაგან დამზადებული ჭურჭელი. იგი გამოირჩევა ქიმიური მდგრადობით, ე.ი. თითქმის არ ურთიერთქმედებს მჟავებთან და ტუტეებთან. ასეთი მინის ჭურჭლის გაფართოების კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობა ტემპერატურის მკვეთრი მერყეობის მიმართ მდგრადობას მოწმობს. ანალიზში ყველაზე ხშირად გამოიყენება ჭურჭელი 100–დან 1000მლ–მდე ტევადობის მქონე ცხვირიანი ქიმიური ჭიქები. მათ იყენებენ დალექვის რეაქციების, ხსნარების მომზადებისა და სითხეების გადასხმის დროს. ნივთიერების დალექვის დროს ხსნარის მოსარევად და სითხეების ფილტრზე გადასატანად გამოიყენება სხვადასხვა სიგრძის 4–6 მმ დიამეტრის მქონე მინის წკირები, რომლებსაც ბოლოში წამოაცვამენ 10 მმ სიგრძის რეზინის ბუნისკს, ჭიქის კედლების ნალექის კვალისაგან გასაწმენდათ. გაფილტვრისათვის იყენებენ მინის ძაბრებს, რომელთა დახრის კუთხე 60° და ზედა დიამეტრი 6–7 სმ. ასევე გამოიყენება მინის ბიუქსები, ჰაერზე არამდგრადი (ჰიგროსკოპული ან აქროლადი) ნივთიერებების შესანახად და ასაწონად.

ცხვირიანი ფაიფურის ჯამები გამოიყენება სითხეების ასაორთქლებად მშრალ ნაშთამდე, ნალექის შემდგომი გამოშრობის მიზნით. უფრო ხშირად იყენებენ 6–9 სმ დიამეტრის ჯამებს. ნალექების გამოწვა ძირითადად ფაიფურის ტიგელებში ხდება. ტიგელებს აცხელებენ სანთურის ალში ან მუფელის ღუმელში. ისინი ტიგელის მაშის საშუალებით ღუმელიდან ექსიკატორში გადააქვთ გასაცივებლად.

ექსიკატორი – განსაკუთრებული ფორმის სქელკედლიანი მინის ჭურჭელია მიღესილი თავსახურით. მის მიღესილ ნაწილებს ვაზელინი აქვს წასმული. ექსიკატორში მოთავსებულია ტიგელების მოსათავსებელი ნახვრეტებიანი ფაიფურის სადგამი. ექსიკატორის ქვედა ნაწილში ათავსებენ წყალწამრთმევე ნივთიერებას. ექსიკატორი განკუთვნილია ბიუქსების ან ტიგელების გასაცივებლად, ჰიგროსკოპული ნივთიერებების შესანახად, ზოგიერთი ნივთიერების ნელი გამოშრობისათვის.

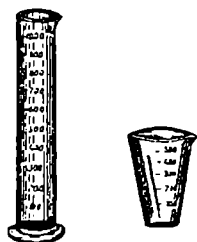


ნახ.17. ფაიფურის ჯამი და ტიგელები.

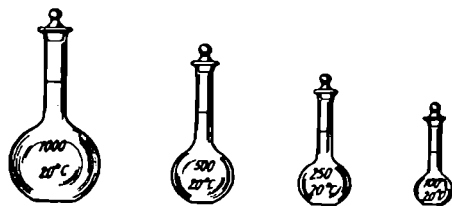


ნახ.18. ექსიკატორი.

სითხეების მოცულობის მიახლოებით გაზომვა ხდება საზომი ცილინდრებით. ზუსტად განსაზღვრული კონცენტრაციის ხსნარების მოსამზადებლად გამოიყენება სხვადასხვა ტევადობის საზომი კოლბები.



ნახ.19. საზომი ცილინდრები

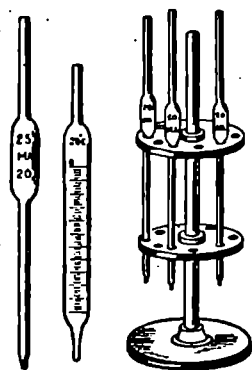


ნახ.20. საზომი კოლბები

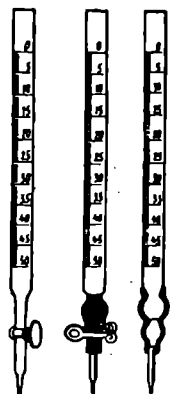
პიპეტებით იღებენ და ერთი ჭურჭელიდან მეორეში გადააქვთ ზუსტი მოცულობის ხსნარები. პიპეტები ცილინდრულია ან შუაში აქვს რეზერვუარი. უფრო ხშირად გამოიყენება 10-50 მლ მოცულობის პიპეტები.

ბიურეტები ცილინდრული ფორმის გრადუირებული მილებია

ონკანით ან რეზინის საკეტიტ. მათი მსხვილი დანაყოფები შეესაბამება მილილიტრს, ხოლო წვრილი 0,1 მლ-ს. ბიურეტებით იზომება სითხეების მოცულობა გატიტვრის დროს. მათი ტევადობა, ჩვეულებრივ, 25–50 მლ-ია.



ნახ.21. პიპეტები და მათი შენახვა



ნახ.22. ბიურეტები

ჭურჭლის გასუფთავება. ანალიზის ჩატარების წინ ქიმიური ჭურჭელი გულმოდგინედ უნდა გაირეცხოს. ჭურჭელი უნდა იყვეს სრულიად სუფთა. მას ჯერ წყლით გარეცხავენ. შიგა და გარე ზედაპირს ჯაგრისით აცილებენ ყოველგვარ ჭუჭყს, ამ ოპერაციას იმეორებენ საპნის ან სოდის ხსნარით. ამის შემდეგ ჭურჭელს რამდენჯერმე გამოავლებენ ონკანის წყალს დაბოლოს 2–3-ჯერ გამოხდილ წყალს. საჭიროების შემთხვევაში ჭურჭელს აშრობენ.

თუ ამ ხერხით ჭურჭლის კარგად გასუფთავება არ მოხერხდა, მაშინ აუცილებელია ე.წ. ქრომის ნარევის გამოყენება. ქრომის ნარევი წარმოადგენს კალიუმის დიქრომატის $K_2Cr_2O_7$ და გოგირდმჟავა H_2SO_4 -ის ხსნარების ნარევს. მის მოსამზადებლად იღებენ 500 მლ წყალს და 150–200გ ტექნიკურ $K_2Cr_2O_7$, ნარევს ფრთხილად უმატებენ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას H_2SO_4 1ლ მოცულობამდე. ქრომის ნარევი ვარგისია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ხმარების შემდეგ მას უკან ასხამენ იმ ჭურჭელში, საიდანაც იყო აღებული. ნარევს

ძალზე ფრთხილად უნდა მოვეპყროთ, რადგან შეიძლება გაშხედეს და ტანსაცმელზე მოხვედრისას დაწვას ქსოვილი. თუ ქრომის ნარევი მოხვდა ხელებზე ან სახეზე, აუცილებელია მისი ჩამორეცხვა წყლის დიდი რაოდენობით. ქრომის ნარევის მოქმედება მის ჟანგვითუნარიანობაზეა დამოკიდებული. კალიუმის ბიქრომატის აღდგენისას ნარევი მწვანდება და თანდათანობით უვარგისი ხდება.

ქრომის ნარევით მინის ჭურჭლის გასუფთავება შემდეგნაირად ზდება: გასარეცხ ჭურჭელს მთლიანად ავსებენ ნარევით და რამდენიმე საათს ტოვებენ. ამის შემდეგ ნარევს უკან ასხამენ ჭურჭელში, ხოლო გასარეცხ ჭურჭელს ჯერ ონკანის წყლით რეცხავენ, ბოლოს კი გამოავლებენ მცირე რაოდენობის დისტილირებულ წყალს. ჭურჭელი სუფთად ითვლება, თუ მასზე ვერ შევამჩნივთ ვერავითარ ლაქებს და მისი კედლებიდან წყალი ისე ჩამოედინება, რომ წვეთები არსად არ რჩება.

საკონტროლო კითხვები

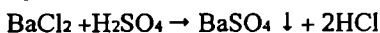
1. რას ეწოდება რაოდენობითი ანალიზი?
2. რა შეიძლება დავადგინოთ რაოდენობით ანალიზის საშუალებით?
3. როგორ ზდება რაოდენობითი ანალიზის მეთოდების კლასიფიკაცია?
4. დაასახელეთ რაოდენობით ანალიზში გამოყენებული მოწყობილობა და ჭურჭელი.
5. როგორ ირეცხება ქიმიური ჭურჭელი?
6. რა შინაარსი აქვს ტერმინებს «სიზუსტე» და «განმეორებადობა»?

3.3. ანალიზის გრავიმეტრული (წონითი) მეთოდი

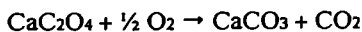
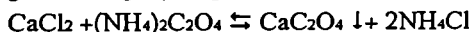
გრავიმეტრული ანალიზი არის რაოდენობითი ქიმიური ანალიზის მეთოდი. ის საკვლევ სინჯში განსაზღვრავს ნივთიერებას მასის მიხედვით. ამ მეთოდის ძირითად საფუძველს წარმოადგენს საანალიზო ნივთიერებიდან განსასაზღვრავი ელემენტის მიღება ნალექის ან მყარი ნაშთის სახით.

წონით ანალიზში მიღებული ნალექი უნდა აკმაყოფილებდეს რამდენიმე ძირითად მოთხოვნას. ნალექს უნდა ჰქონდეს დაბალი ხსნადობა, მუდმივი ქიმიური შედგენილობა, ის უნდა იყოს მსხვილკრიტალური. ფოროვანი სტრუქტურა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ადვილად გაფილტროთ და ჩავრეცხოთ.

ზოგიერთი ნალექი გამოწვის დროს იცვლის თავის შედგენილობას, ამიტომ არჩევენ დასალექ და ასაწონ ფორმას. როცა ბარიუმის განსაზღვრა ხდება ის ილექება გოგირდმჟავათი, ამიტომ მისი დასალექი და ასაწონი ფორმა ერთნაირია.



მაგრამ თუ გვინდა კალციუმის განსაზღვრა, მაშინ მათი დასალექი და ასაწონი ფორმა სხვადასხვაა.



დასალექი ფორმაა CaC_2O_4 , ასაწონი კი CaO .

წონითი ანალიზის ჩატარებისათვის საჭირო პროცედურები

წრფონით ანალიზის ჩატარებისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება საანალიზოდ სინჯის მომზადებას და წონაკის აღებას. ამ დროს საანალიზოდ გამოიყენება ძირითადად ხსნარები. მაგრამ შეიძლება იყოს ნივთიერება მყარ მდგომარეობაში. ამისათვის ამ ნივთიერებას აფხვიერებენ სპეციალურ სანაყში. დაფხვიერება დამთავრებულია თუ ფხვნილის ხელით გასრესის დროს თითებს შორის არ მოგ-

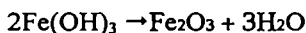
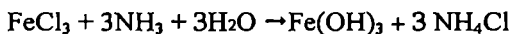
ვხვდება მადნის მარცვლები. შემდეგ სასწორზე წონიან საათის მინას ან ნალექს. მასში ათავსებენ ნალექის წონაკს და ისევ წონიან. სხვაობა საათის მინასა და ნალექიან საათის მინას შორის არის ნალექის მასა. საანალიზო ნივთიერების მასა უნდა მერყეობდეს 0,5 გ-1,00 გ-მდე.

საანალიზო სინჯი იხსნება წყალში ან სხვა გამხსნელში ტუტეში, მჟავაში ან რომელიმე მჟანგველში. გამხსნელის შერჩევა ხდება წინასწარ. გახსნა ხდება ქიმიურ ჭიქაში. შეიძლება გავაცხელოთ აზბესტის ბადეზე ან წყლის აბაზანაზე.

იმისათვის, რომ ანალიზი ზუსტად იქნეს ჩატარებული საჭიროა საანალიზო სინჯის წონაკის მასის m_a გაანგარიშება. ანგარიშს ატარებენ რეაქციის განტოლების მიხედვით პროპორციისა და საანგარიშო ფორმულის შედგენით, რომელიც შეიცავს საკვლევ ნივთიერების მოლური მასის M_a და დასალექი ფორმის მოლური მასის M_b თანაფარდობას. კრისტალური ნალექებისათვის დასალექი ფორმის ოპტიმალური მასაა 0,5 გ, ამორფულისათვის 0,1 გ.

$$m_a = 0,5 \frac{a \cdot M_a}{b \cdot M_b} \text{ ან } m_a = 0,1 \frac{a \cdot M_a}{b \cdot M_b}$$

სადაც a და b რეაქციის კოეფიციენტებია, მაგ.



Fe(OH)_3 -ის ნალექის 1 მოლი შეესაბამება 1 მოლ FeCl_3

ე.ი. 0,1 გ Fe(OH)_3 -ის მისაღებად საჭიროა აღებული იქნას ისეთი წონაკი, რომელშიც FeCl_3 -ის შემცველობაა:

$$b \cdot M_{\text{Fe(OH)}_3} - a \cdot M_{\text{FeCl}_3}$$

$$1 \cdot 106,87 \text{ გ} - 1 \cdot 162,21 \text{ გ}$$

$$0,1 \text{ გ} - m_a$$

$$m_a = \frac{0,1a \cdot M_a}{b \cdot M_b} = \frac{0,1 \cdot 162,21}{106,87} = 0,152 \text{ გ}$$

საანალიზო გამზადებულ სინჯს დალექავენ, იმის მიხედვით თუ რომელი ნივთიერების აღმოჩენა უნდათ. ამისათვის დამლექავი

წინასწარ უნდა იყოს ცნობილი. ხშირად ლექავენ ამიაკის ხსნარით, ამონიუმის მარილებით, აქროლადი მჟავებით. დალექვა რომ იყოს სრული მას უმატებენ 1,5-ჯერ მეტ დამლექავს.

შესაბამის მასას გამოთვლიან ფორმულით.

$$x = \frac{1,5m_a \cdot aM_o}{b \cdot M_b},$$

სადაც m_a – წონაკის მასაა;

M_o - დამლექავის მოლური მასა,

M_b - ნივთიერების მოლური მასა;

a, b - რეაქციის კოეფიციენტები.

კრისტალური ნალექების დალექვისას დალექვა ხდება ცხელი და განზავებული ხსნარებიდან. დამლექავს უმატებენ ნელა, ამოწმებენ სრულ დალექვას და ნალექს ტოვებენ მოსამწიფებლად. ამ დროს ნალექების კრისტალები მსხვილდება.

ამორფული ნალექების დალექვას აწარმოებენ კონცენტრირებული ხსნარებიდან და ნალექს დალექვისათანავე ფილტრავენ.

ნალექის გაფილტვრა ხდება მინის ან ქაღალდის უნაგრო ფილტრით. მინის ფილტრს იყენებენ მსხვილკრისტალური ნივთიერებების გაფილტვრისას, ხოლო ქაღალდისას – წვრილკრისტალური და ამორფული ნალექების შემთხვევაში.

გაფილტვრის შემდეგ ერთ-ერთ მნიშვნელოვანი პროცესია ნალექის ჩარეცხვა. ჩარეცხვა ხდება ცხელი წყლით, რომელშიც შერეულია მცირე რაოდენობის დამლექავი. ჯერ კარგად გამორეცხავენ საანალიზო ჭურჭელს, ხოლო შემდეგ ფილტრზე მყოფ ნალექს.

გამრობა ნალექის ხდება საშრობ კარადაში 20-30 წუთის განმავლობაში 100-120 ° ტემპერატურაზე. შემდეგ ის გადააქვთ ტიგელში, რომელიც წინასწარ არის აწონილი და მიყვანილია მუდმივ წონამდე. ტიგელი შეაქვთ მუფელ-ლუმელში 10-30 წუთის განმავლობაში წვავენ 800-1000 °-ის პირობებში. აწონვა ხდება ტიგელიანი მასის მუდმივ წონამდე მიყვანამდე (3-4-ჯერ მაინც). სხვაობა ბოლო წონებს შორის არ უნდა აღემატებოდეს 0,0005 გ-ს.

ანალიზის შედეგის გამოთვლა წარმოებს ე.წ. ანალიზური ფაქტორის ან მამრალის გამოყენებით. ანალიზური ფაქტორი F ეწოდება საკვლევი ნივთიერების ექვივალენტის Ξ ფარდობას გრავიმეტრული ფორმის ექვივალენტთან.

$$\Xi: F = \Xi / \Xi_0$$

მაგ. Ag^+ -თვის, რომელიც მოცემულია AgCl -ის სახით

$$F \frac{\text{Ag}}{\text{AgCl}} = \frac{107,87}{143,42} = 0,7526$$

F ფაქტორით გამოითვლება: ა) სინჯის წონაკში ნივთიერების m_* მასას: სადაც $m_* = m_0 \cdot F$ გრავიმეტრული ფორმის მასაა. ბ) ნივთიერების პროცენტულ შემცველობა $C \%m$ მასის სინჯის წონაკში

$$C = \frac{m_* F}{m} \cdot 100\%$$

3.3.1. საკრისტალიზაციო წყლის განსაზღვრა

$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -ში

კრისტალჰიდრატებიდან დაკრისტალების წყლის მოცილებას ახდენენ მათ საშრობ კარადაში გახურებით განსაზღვრულ ტემპერატურაზე. წონის დაკლებით იგებენ დაკრისტალებული წყლის რაოდენობას. ამ მიზნით იღებენ ქიმიურად სუფთა (ქ.ს.) ანალიზისათვის სუფთა ნივთიერებას, რომელშიც განსასაზღვრავი კომპონენტის რაოდენობის გამოთვლა შეიძლება ფორმულის მიხედვით.

განსაზღვრის მსვლელობა.

გულდასმით გარეცხილ ბიუქსს, უბუფოდ (ხუფი შებრუნებული უნდა იყოს გვერდზე ბიუქსშივე) 30–40 წუთის განმავლობაში, აშრობენ საშრობ კარადაში 120–125°C-ზე. შემდეგ ბიუქსი ტიგელის მაშით გადააქვთ გასაცივებლად ექსიკატორში და 20–25 წუთს აციებენ ხუფდაუხურავად. შემდეგ თავდახურულ ბიუქსს ზუსტად წონიან ანალიზურ სასწორზე და წონას ჩაიწერენ ჟურნალში.

გაშრობისა და გაცივების დროს ბიუქსი უნდა იყოს თავლია, რა-

თა წყლის ორთქლი თავისუფლად აეროდეს, აწონის დროს კი – თავდახურული. ამის შემდეგ ბიუქსში ათავსებენ 1,2–2გ წინასწარ აწონილ კრისტალურ ბარიუმის ქლორიდს. ბიუქსს ახურავენ ხუფს, ზუსტად წონიან ანალიზურ სასწორზე და წონას ჩაიწერენ. აწონის შემდეგ ნახევრად თავლია ბიუქსს ათავსებენ წინასწარ $120^{\circ}\text{--}125^{\circ}\text{C}$ -ზე გახურებულ საშრობ კარადაში. ერთი საათის გაშრობის შემდეგ ბიუქსი ტიგელის მაშით ხუფთან ერთად გადააქვთ ოთახის ტემპერატურამდე გასაცივებლად ექსიკატორში. დაახლოებით 20–30 წუთის დაყოვნების შემდეგ ბიუქსს თავსახურავით წონიან ანალიზურ სასწორზე და მასას იწერენ ჟურნალში.

აწონის შემდეგ ბიუქსს მოხდიან ხუფს, ისევე აშრობენ კარადაში 25–30 წთ. $120\text{--}125^{\circ}\text{C}$ -ზე, აცივებენ ექსიკატორში, წონიან ანალიზურ სასწორზე და მასას იწერენ. თუ აწონვის პირველი და მეორე მონაცემები ერთმანეთს ემთხვევა, ეს იმას ნიშნავს, რომ საკრისტალიზაციო წყალი ბარიუმის ქლორიდისაგან მოცილებულია მთლიანად. წინააღმდეგ შემთხვევაში გაშრობას იმეორებენ მანამდე, სანამ ორ უკანასკნელ მასათა შორის სხვაობა არ აღემატება 0,0002გ-ს. ამის შემდეგ აწარმოებენ გამოთვლას.

დავუშვათ, რომ აწონის შედეგად მიღებულია შემდეგი მონაცემები:

ბიუქსის მასა $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -ით	20,2644 გ.
ცარიელი ბიუქსის მასა	18,7020 გ.
$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – ის წონაკი გამოშრობამდე	1,5624 გ.
ბიუქსის მასა ბარიუმის ქლორიდი გამოშრობის შემდეგ პირველი აწონვის მასა	20,0356 გ.
მეორე აწონვის მასა	20,0344 გ.
მესამე აწონვის მასა	20,0344 გ.

საკრისტალიზაციო წყლის მასური წილის გაანგარიშება:

$$20,2644 - 20,0344 = 0,2300 \text{ გ.}$$

მასური წილი პროცენტებში

$$\omega = \frac{0,2300 \cdot 100}{1,562} = 14,72\% \text{H}_2\text{O.}$$

იმისათვის, რომ იმსჯელონ შესრულებული მუშაობის სიზუსტეზე, ბარიუმის ქლორიდში ნაპოვნ საკრისტალიზაციო წყლის პროცენტულ რაოდენობას დაუპირისპირებენ $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ფორმულის მიხედვით გამოანგარიშებულ თეორიულ მნიშვნელობას.

ფორმულის მიხედვით გამოთვლილი დიკრისტალების წყლის მასური წილი პროცენტებში $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ – ში ტოლია:

$$BaCl_2 \cdot 2H_2O - 2H_2O$$

$$244,3\text{გ} - 36,03\text{გ}$$

$$100\text{გ} - x$$

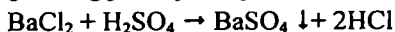
$$x = \frac{100 \cdot 36,03}{244,3} = 14,75\%.$$

მოცემულ შემთხვევაში ცდით მიღებულ და თეორიულად გამოთვლილ სიდიდეს შორის განსხვავება შეადგენს: $14,75\% - 14,72\% = 0,03\%$. რაც აიხსნება აწონის აუცილებელი ცდომილებით. სწორი მუშაობის დროს ეს ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 0,05\%$ –ს.

ანალოგიურად საზღვრავენ სხვადასხვა ნივთიერებებში ტენიანობას იმ განსხვავებით, რომ გახურებას აწარმოებენ $100-110^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე.

3.3.2. ბარიუმის განსაზღვრა

ბარიუმის განსაზღვრისთვის მას ვლექავთ განზ. გოგირდმჟავათი და ღებულობენ თეთრი ფერის კრისტალურ ნალექს.

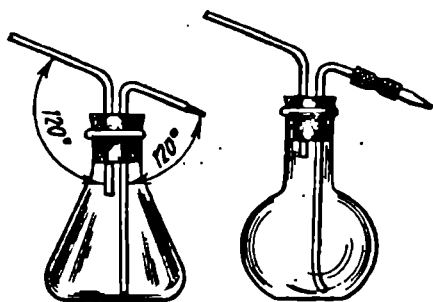


ბარიუმის სულფატი პრაქტიკულად უხსნადი ნივთიერებაა. ანალიზის ჩატარებისათვის აწონიან საათის მინას და ზედ მოათავსებენ 0,2-0,3 გრამი რაოდენობას $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ სინჯს და კვლავ აწონიან. ვთქვათ არის 0,2436 გ. შემდეგ სინჯი გადააქვთ 200 მლ მოცულობის ქიმიურ ჭიქაში და ხსნიან 100 მლ გამოხდილ წყალში. დაუმატებენ 2N HCl-ის 2-3 მლ (კოლოიდური ხსნარის თავიდან ასაცილებლად) და დადგამენ წყლის აბაზანაზე გასაცხელებლად. იღებენ 3 მლ

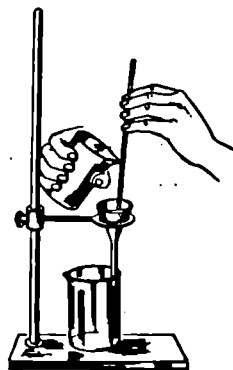
$2N H_2SO_4$ -ს განაზავებენ გამოხდილ წყლით 30 მლ-მდე, ფრთხილად გააცხელებენ და წვეთ-წვეთობით დაუმატებენ საანალიზო ხსნარს მუდმივად წკირით მორევისას. ხსნარ-ნალექს ტოვებენ წყლის აბაზანაზე, როცა ზედა ნაწილი ხსნარის გახდება გამჭირვალე შეამოწმებენ სრულ დალექვას – უმატებენ გოგირდმჟავას 2-3 წვეთს თუ ხსნარი აიმღვრა, მაშინ ისევ დაამატებენ გოგირდმჟავას, მანამ სანამ პროცესი არ დამთავრდება. ნალექს დაახურავენ საათის მინას ან ქალაღდს და დატოვებენ 4-6 საათის განმავლობაში ნალექის დამწიტფებისათვის.

ამის შემდეგ ფაიფურის ტიგელი მიგვყავს მუდმივ წონამდე. ავწონით ტიგელს და გამოვწვავთ ღუმელში 20-25 წუთის განმავლობაში. შემდეგ გავაცივებთ ექსიკატორში და ავწონით. აწონვას ვიმეორებთ მანამ სანამ ტიგელს მუდმივ წონამდე არ მივიყვანთ.

ამის შემდეგ ნალექს გაფილტრავენ მკვრივ უნაცრო ფილტრში (ლურჯი ლენტი). ფილტრავენ დეკანტაციის წესით. ნალექის ზემოთ მყოფ სითხეს მთლიანად გადაიტანენ ნალექის აუშვრევლად. შემდეგ დარჩენილ ნალექს აამღვრევენ რეზინის ბუნიკიანი მინის წკირით და მისივე დახმარები გადაიტანენ ფილტრის ქალაღზე. შემდეგ ჩარეცხავენ ჩამრეცხი კოლბის დახმარებით ცხელი გამოხილი წყლით, რეცხავენ მანამ, სანამ არ მოაცილებენ ქლორის იონებს (სინჯი ქლორის-იონის აღმოჩენთან).



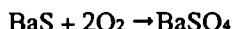
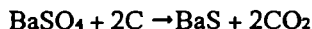
ნახ.23. ჩამრეცხი კულა



ნახ.24. გაფილტვრა

ნალექის ჩარეცხვის შემდეგ ძაბრს დგამენ საშრობ კარადაში 10-15 წუთის განმავლობაში 100-120 ° ტემპერატურამდე. შემდეგ ფილტრის ქაღალდს ოთხად მოკეცავენ, ჩადგამენ ტიგელში (რომლის წონა უკვე ცნობილია) და შედგამენ მუფელში გამოსაწვავად 20-30 წუთის განმავლობაში. შემდეგ გააცივებენ ექსიკატორში და აწონიან. ასე გაიმეორებენ მანამ, სანამ არ მიიყვანენ მუდმივ წონამდე.

BaSO₄-ის ნალექის გახურების დროს ის ნაწილობრივ აღდგება ფილტრის ქაღალდით, მაგრამ შემდეგ ისევ დაიჟანგება ჰაერით ბარიუმსულფატამდე.



ანგარიშისათვის საჭიროა შემდეგ მონაცემები.

მუდმივ წონამდე მიყვანილი ცარიელი ტიგელის მასა – 10,5672

მუდმივ წონამდე მიყვანილი ნალექის მასა ტიგელით – 10,3439.

მათ შორის სხვაობა 10,5672-10,3439=0,2323 გ.

BaSO₄ შეიცავს Ba²⁺

233,4 გ – 137,4 გ

0,2323 გ – x

x=0,1372 გ.

F ფაქტორის გამოყენებით გამოითვლება ასე:

$$F \frac{\text{Ba}^{2+}}{\text{BaSO}_4} = 0,5884$$

Ba²⁺ რაოდენობა ტოლია: 0,2323 · 0,5884 = 0,1372 გ.

Ba²⁺ შემცველობა პროცენტობით:

BaCl₂ · 2H₂O წონაკი ტოლია 0,2436 გ.

თუ 0,2436 გ BaCl₂ · 2H₂O – 0,13472 გ Ba²⁺

$$100 \frac{\quad}{\quad} x$$

x=56,32% Ba

განსაზღვრის სიზუსტეზე წარმოდგენის მისაღებად შეადარებენ Ba²⁺-ის მიღებულ პროცენტს იმ სიდიდეს, რომელიც შეესაბამება BaCl₂ · 2H₂O ფორმულას.



$$244,3 \text{ გ} \quad \quad \quad \longrightarrow 137,4 \text{ გ}$$

$$100 \quad \quad \quad \longrightarrow x$$

$$x = 56,24 \%$$

ამ შემთხვევაში განსაზღვრის აბსოლუტური ცდომილება ტოლია:

$$56,32\% - 56,24\% = 0,08 \%$$

შეფარდებითი ცდომილება ტოლია

$$56,24 \% - 0,08 \%$$

$$100 \quad \quad \quad x$$

$$x = 0,14 \%$$

სინჯის $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ წონა	
მუდმივ წონამდე მიყვანილი ცარიელი ტიგელის მასა	
მუდმივ წონამდე მიყვანილი ტიგელის მასა ნალექით	
ნალექის მასა	

3.4. ანალიზის ტიტრიმეტრული (მოცულობითი) მეთოდი

მოცულობით ანალიზს საფუძვლად უდევს გამოსაკვლევი კომპონენტის რეაქციაზე დახარჯული რეაქტივის რაოდენობის განსაზღვრა. საჭიროა ცნობილი კონცენტრაციის მქონე იმ რეაქტივის მოცულობის გაზომვა, რომელიც დაიხარჯა გამოსაკვლევი კომპონენტის და რეაქტივის ურთიერთქმედებისას ექვივალენტური წერტილის მისაღწევად. ექვივალენტური წერტილი ფიქსირდება ხსნარის შეფერილობის შეცვლით ან რომელიმე სხვა ნიშნით. ტიტრიმეტრული მეთოდები ხასიათდება განსაზღვრის მაღალი სიზუსტით და სისწრაფით. გაფილტვრისათვის გამოიყენება ისეთი რეაქცია, რომ-

ლის დასრულების დადგენა ქიმიური ან ფიზიკური მეთოდებით არ წარმოადგენს სირთულეს.

ერთმანეთთან რაოდენობრივად მორეაგირე ხსნარების მოცულობები ამ ხსნარების ნომალური კონცენტრაციების უკუპროპორციულია

$$V_1/V_2=N_2/N_1, V_1N_1= V_2N_2$$

სადაც V - მორეაგირე ხსნარის მოცულობაა, მლ-ში;

N - ნომალური კონცენტრაცია.

ტიტრირებადი მეთოდით ნივთიერების განსაზღვრისათვის საჭიროა გავიაროთ შემდეგი ეტაპები: 1) დავაზნადოთ ზუსტად ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარები; 2) ექვივალენტური წერტილის დასრულება; 3) მორეაგირე ხსნარების მოცულობის ზუსტი გაზომვა.

მოცულობითი ანალიზი მოიცავს შემდეგ მეთოდებს: 1) მჟაურ-ფუძური მეთოდი, რომლის საფუძველია ნეიტრალიზაციის რეაქცია; 2) ჟანგვა-აღდგენის მეთოდი, რომლებშიც დამჟანგველის ხსნარის საშუალებით საზღვრავენ აღმდგენლების შემცველობას; 3) დალექვის და კომპლექსწარმოქმნის მეთოდები, რომლებიც დამყარებულია იონების მწელადხსნადი ნაერთების დალექვასა და იონების მცირედდისოცირებულ კომპლექსის შეკავშირებაზე.

გატიტვრის მეთოდები შეიძლება იყოს: 1) პირდაპირი – როცა რეაქცია მიმდინარეობს განმსაზღვრავ ნივთიერებებსა და სამუშაო ხსნარს შორის; 2) უკუ, როდესაც განმსაზღვრავ ხსნარს უმატებენ მასთან რეაქციაში შემავალ ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარს. ხსნარის რაოდენობა უნდა იყოს ცნობილი, ჭარბად და რეაქციაში შეუსვლელი რეაქტივის სიჭარბეს ტიტრავენ სამუშაო ხსნარით; 3) შემცვლელის გატიტვრა, როდესაც სამუშაო ხსნარით ტიტრავენ განსაზღვრავი ნივთიერების რომელიმე რეაქტივთან რეაქციის პროდუქტს.

გატიტვრის დასრულების პროცესს განსაზღვრავენ სხვადასხვა გზით: 1) ინდიკატორული გატიტვრა - დამყარებულია ნივთიერების ფერის შეცვლაზე; 2) პოტენციომეტრული გატიტვრა – აქ ინდიკატორი არის ელექტროდი, რომლის პოტენციალი დამოკიდებულია რე-

აქციაში მონაწილე ერთ-ერთი ნივთიერების კონცენტრაციაზე; 3) ამპერიმენტრულ გატიტვრას – როდესაც ელექტროლიზურში ათავსებენ ხსნარს, რომელსაც აქვს ვერცხლიწყლის წვეთური კათოდი და ვერცხლწყლის დიდი ანოდი. მეთოდი გამოიყენება კათიონების, ანიონების და ორგანული ნივთიერებების განსაზღვრისათვის და დამყარებულია გატიტვრის დროს ლითონის თავისუფალი კონცენტრაციის და დენის ძალის შემცირებაზე; 4) კონდუქტომეტრული გატიტვრა – რომელიც დამყარებულია გატიტვრის პროცესში ხსნარების ელექტროგამტარობის ცვლილებაზე; 5) მაღცალსიხშირული გატიტვრა - როცა გატიტვრის წერტილს არკვევენ მაღალი სიხშირის ცვლადი დენებით; 6) ოპტიკური მეთოდი – რომელიც ემყარება გატიტვრის პროცესში სინათლის შთანთქმის გაზომვაზე.

რეაქციის დამთავრების განსაზღვრა. გატიტვრისას იყენებენ არა რეაქტივის სიჭარბეს, არამედ მის იმ რაოდენობას, რომელიც განსასაზღვრავი ნივთიერებების ეკვივალენტურია. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა გასატიტრ ნივთიერებას და სამუშაო ხსნარს შორის მიმდინარე რეაქციის დამთავრების მომენტის ზუსტ დადგენას. ე.ი. ეკვივალენტობის წერტილის ფიქსირებას.

რეაქციის დამთავრების განსასაზღვრავად იყენებენ განსაკუთრებულ ნივთიერებებს, ე.წ. ინდიკატორებს. ინდიკატორების მოქმედება, უმეტეს შემთხვევაში, იმაში გამოიხატება, რომ გასატიტრ ნივთიერებასა და სამუშაო ხსნარს შორის რეაქციის დამთავრების შემდეგ უკანასკნელის მცირე სიჭარბისას, ინდიკატორი იცვლის ფერსა და შესაბამისად, ცვლის ხსნარის შეფერვას. როდესაც ბიურეტიდან დამატებული სამუშაო ხსნარის რაოდენობა საკმარისია გასატიტრი ხსნარის შეფერვის შესამჩნევი ცვლილებისათვის, მაშინ თვლიან, რომ გატიტვრის დასრულების წერტილი მიღწეულია. იგი შეიძლება ზუსტად არც კი ემთხვეოდეს ეკვივალენტობის წერტილს. მაგრამ, ვინაიდან სამუშაო ხსნარის ტიტრის დადგენას ატარებენ იმავე ინდიკატორით და იგივე პირობებში, რაშიაც თვით ანალიზს. ამიტომ გატიტვრის დასრულების

წერტილის ეკვივალენტობის წერტილთან დაუმთხვევლობა, განსაზღვრის სიზუსტეზე პრაქტიკულად არ მოქმედებს.

ყოველ ტიტრომეტრულ მეთოდს საკუთარი ინდიკატორი გააჩნია. მჟავურ-ფუძოვანი გატიტვრის დროს ინდიკატორები თავის შეფერვას იცვლის ხსნარის pH -ის შეცვლით. დალექვის მეთოდებში ეკვივალენტობის წერტილს პოულობენ ნალექის წარმოქმნის დასრულების მომენტის დაფიქსირებით. ამ მეთოდებში გამოყენებული ინდიკატორები, სამუშაო ხსნარის საჭარბისას, კაშკაშა ფერის ნალექს ან ხსნარს წარმოქმნის. თუ გატიტვრა კაშკაშა ფერის ხსნარით ხდება, გატიტვრის დასრულება ზოგჯერ ინდიკატორის გარეშეც შეიძლება შევამჩნიოთ. ვინაიდან სამუშაო ხსნარის პირველივე წვეთი, რომელიც განსასაზღვრავ ნივთიერებასთან არ რეაგირებს, შეცვლის გასატიტრი ხსნარის შეფერვას.

3.5. სამუშაო ხსნარები და ეკვივალენტური წერტილი

გატიტვრის იმ მომენტს, როცა ინდიკატორი ფერს იცვლის, გატიტვრის დასრულების წერტილი ეწოდება. გატიტვრის პირობები და ინდიკატორი ისეთნაირად უნდა იყოს შერჩეული, რომ გატიტვრის დასრულების წერტილს დაემთხვას ან ახლოს იყოს თეორიულ გატიტვრის წერტილთან. თეორიული გატიტვრის წერტილი იშვიათად ემთხვევა პრაქტიკული გატიტვრის წერტილს. ეს არის გატიტვრის ცდომილება.

მოცულობით ანალიზში ზუსტად განსაზღვრული კონცენტრაციის მქონე ხსნარებს სამუშაო, სტანდარტული ან ტიტრირანი ხსნარები ეწოდება. სამუშაო ხსნარი ის ხსნარია, რომლითაც ტიტრავენ. სამუშაო ხსნარის გამოყენება დაკავშირებულია იმაზე, რომ ამ დროს ცნობილია ამ ხსნარის ზუსტი კონცენტრაცია. ტიტრირანი ხსნარი შეიძლება დავამზადოთ ორი მეთოდით:

- 1) ხსნარი, რომლის დამზადებისათვის ანალიზურ სასწორ-

ზე წონიან ზუსტ წონაკს და ხსნიან საზომ კოლბაში და ასეთი ხსნარია ხსნარი დამზადებული ტიტრით. 2) ხსნარი, რომელიც დამზადებულია მიახლოებით საჭირო კონცენტრაციით და რომლის ზუსტ კონცენტრაციას ადგენენ დამზადებული ტიტრის მქონე ხსნარით გატიტრის შემდეგ, ასეთი ხსნარია ხსნარი დადგენილი ტიტრით.

სამუშაო ხსნარების ტიტრები განისაზღვრება იმავე პირობებში რა პირობებშიც ანალიზი უნდა იქნეს ჩატარებული. ხსნარის ტიტრი განისაზღვრება 1 მლ-ში გახსნილი ნივთიერების რაოდენობით, რომელიც გამოსახულია გრამებში. ანალიზურ ლაბორატორიებში ხსნარის ტიტრს უშუალოდ განსაზღვრავ ნივთიერებაზე გადაიანგარიშებენ. ის უჩვენებს განსაზღვრავი ნივთიერების რა მასას (გრამებში) შეესაბამება სამუშაო ხსნარი მილილიტრებში. სამუშაო ხსნარის ზუსტი კონცენტრაციის დასადგენად სარგებლობენ ე.წ. გამოსავალი ან დასადგენი ნივთიერებით. მაგ. მჟავების ტიტრს ადგენენ ნატრიუმის კარბონატის ან ნატრიუმის ტეტრაბორატის მეშვეობით.

ფართო გამოყენება აქვს ფიქსონალებიდან დამზადებულ ტიტრირებულ ხსნარებს. ფიქსონალი წარმოადგენს მირჩილულ მინის მილს მასში მოთავსებული ნივთიერებების იმ რაოდენობით, რომელიც საჭიროა 0,1N კონცენტრაციის 1ლ ხსნარის მოსამზადებლად.

რეაქციის დამთავრების განსაზღვრა. გატიტრისას იყენებენ არა რეაქტივის სიჭარბეს, არამედ მის იმ რაოდენობას, რომელიც განსაზღვრავი ნივთიერებების ეკვივალენტურია. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა გასატიტრ ნივთიერებას და სამუშაო ხსნარს შორის მიმდინარე რეაქციის დამთავრების მომენტის ზუსტ დადგენას. ე.ი. ეკვივალენტობის წერტილის ფიქსირებას.

რეაქციის დამთავრების განსაზღვრავად იყენებენ განსაკუთრებულ ნივთიერებებს, ე.წ. ინდიკატორებს. ინდიკატორების მოქმედება, უმეტეს შემთხვევაში, იმაში გამოიხატება, რომ გასატიტრ ნივთიერებასა და სამუშაო ხსნარს შორის რეაქციის დამთავრების შემდეგ უკანასკნელის მცირე სიჭარბისას, ინდიკატორი იცვლის ფერსა და შესაბამისად, ცვლის ხსნარის შეფერვას. როდესაც ბიურეტიდან

დამატებული სამუშაო ხსნარის რაოდენობა საკმარისია გასატიტრი ხსნარის შეფერვის შესამჩნევი ცვლილებისათვის, მაშინ თვლიან, რომ გატიტრის დასრულების წერტილი მიღწეულია. იგი შეიძლება ზუსტად არც კი ემთხვეოდეს ეკვივალენტობის წერტილს. მაგრამ, ვინაიდან სამუშაო ხსნარის ტიტრის დადგენას ატარებენ იმავე ინდიკატორით და იგივე პირობებში, რაშიაც თვით ანალიზს. ამიტომ გატიტრის დასრულების წერტილის ეკვივალენტობის წერტილთან დაუმთხვევლობა, განსაზღვრის სიზუსტეზე პრაქტიკულად არ მოქმედებს.

ყოველ ტიტრომეტრულ მეთოდს საკუთარი ინდიკატორი გააჩნია. მჟავურ-ფუძოვანი გატიტრის დროს ინდიკატორები თავის შეფერვას იცვლის ხსნარის pH-ის შეცვლით. დალექვის მეთოდებში ეკვივალენტობის წერტილს პოულობენ ნალექის წარმოქმნის დასრულების მომენტის დაფიქსირებით. ამ მეთოდებში გამოყენებული ინდიკატორები, სამუშაო ხსნარის საჭარბისას, კაშკაშა ფერის ნალექს ან ხსნარს წარმოქმნის. თუ გატიტვრა კაშკაშა ფერის ხსნარით ხდება, გატიტრის დასრულება ზოგჯერ ინდიკატორის გარეშე შეიძლება შევამჩნიოთ. ვინაიდან სამუშაო ხსნარის პირველივე წვეთი, რომელიც განსასაზღვრავ ნივთიერებასთან არ რეაგირებს, შეცვლის გასატიტრი ხსნარის შეფერვას.

3.6. ნეიტრალიზაციის მეთოდი

ნეიტრალიზაციის მეთოდი ეწოდება მოცულობითი ანალიზის მეთოდს, რომელიც დამყარებულია H^+ და OH^- იონების ურთიერთქმედებაზე. ამ მეთოდის გამოყენების დროს დიდ სიძნელეს წარმოადგენს ეკვივალენტური წერტილის განსაზღვრა.

თუ შევურევთ ერთმანეთს ეკვივალენტური რაოდენობის ერთნაირი მოცულობის და ერთნაირი კონცენტრაციის მჟავებს და ტუტეებს რეაქციის დამთავრების შემდეგ მათ უნდა ექნეს ნეიტრალუ-

რი არე, თუმცა უმეტეს შემთხვევაში ასე არ ხდება. ზოგჯერ წარმოიქმნება სუსტი მჟავა ან სუსტი ტუტე გარემო. თუ ვეცდებით ასეთი ხსნარის გატიტრას ნეიტრალურ არემდე, მაშინ ის დარჩება ან გაუტიტრავი, ან გადატიტრული, რასაც მივყავართ არასწორ შედეგებამდე.

ვთქვათ ვტიტრავთ 20 მლ 0,1 N CH_3COOH და 20 მლ 0,1N NaOH -ის ხსნარს. გატიტრის დასაწყისში კოლბაში არის სუსტი მჟავის ხსნარი ე.ი. არე მჟავა. ტუტის დამატების შემდეგ ხსნარი ხდება ნაკლებად მჟავე და ბოლოს უნდა გახდეს ნეიტრალური. ე.ი. უნდა მოხდეს გატიტრის დასრულება. სინამდვილეში ამ დროისათვის იხარჯება 0,1 N NaOH -ის 20 მლ-ზე ნაკლები. აქედან გამომდინარეობს, რომ თანაბარი რაოდენობით ამ ხსნარების შერევამ არ მიგვიყვანა ექვივალენტობამდე და ხსნარი დარჩა გაუტიტრავი. თუ შემდეგ დავუმატებთ მთლიანად 20 მლ ტუტეს, ხსნარი კოლბაში უკვე გახდება სუსტი ტუტე გარემოს მქონე და მხოლოდ ამ მომენტში მჟავა გადაიქცევა ნატრიუმის აცეტატად და გატიტრა დასრულდება.

ამ ცდის მაგალითზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მმარმჟავათი გატიტრისას თუ გატიტრა დამთავრდება ნეიტრალურ არეში ხსნარი აღმოჩნდება ძლიერ გადატიტრული, მაშინ როცა რეალურად გატიტრა უნდა დამთავრებულიყო სუსტ ტუტე გარემოში.

ნეიტრალიზაციის მეთოდით ხსნარის გატიტრისას უნდა გავითვალისწინოთ ორი რამ:

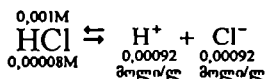
პირველი – საკითხის გადაწყვეტისათვის საკმარისი არ არის მარტო იმის თქმა, რომ გვაქვს სუსტი მჟავა ან სუსტი ტუტე გარემო. საჭიროა ეს ყველაფერი განვიხილოთ სისტემის წონასწორობის კუთხით



მეორე საკითხის გადაწყვეტისათვის კი უნდა განვიხილოთ ინდიკატორების თეორია.

ძლიერი მჟავის და ძლიერი ტუტის განზავებული ხსნარების

დისოციაციის ხარისხი უახლოვდება ერთს. მაგალითად, 0,001 M HCl-ის ხსნარის დისოციაციის ხარისხი 92%-ია და შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ წონასწორობის მუდმივა ამ შემთხვევაში გადახრილია მარჯვნივ.

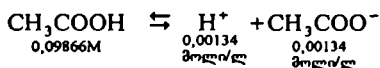


მარილმჟავას საერთო კონცენტრაცია 0,001M, ხოლო არადისოცირებული მოლეკულების 0,00008 M.

ამრიგად, ძლიერი მჟავების განზავებული ხსნარების იონების კონცენტრაცია მიახლოებით ტოლია ამ ხსნარების საერთო კონცენტრაციის

$$[H^+] \approx C_{\text{მჟავის}} \quad pH = -\lg C_{\text{მჟავის}} \approx pC_{\text{მჟავის}}.$$

სუსტი მჟავები და ფუძეები მცირედ დისოცირდებიან. მაგალითად, 0,1M CH_3COOH -ის დისოციაციის ხარისხი ტოლია 1,34%-ის. აქედან გამომდინარეობს, რომ წონასწორობის მუდმივა გადახრილია მარცხნივ, ე.ი. ძირითადი მასა მოლეკულის რჩება არადისოცირებული.



მასის მუდმივობის კანონიდან გამომდინარე

$$\frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = K_{\text{მჟავის}} \quad (1)$$

ამ ტოლობიდან გამოითვლება $[H^+]$ - იონების კონცენტრაცია, რომელიც ტოლია $[CH_3COOH]$ -იონების კონცენტრაციის, ხოლო კონცენტრაცია არადისოცირებული მოლეკულების თითქმის ტოლია მთლიანი კონცენტრაციის ე.ი. $[CH_3COOH] \approx C_{\text{მჟავის}}$

ჩავსვათ მოცემული აღნიშვნა (1) ტოლობაში

$$\frac{[H^+]^2}{C_{\text{მჟავის}}} = K_{\text{მჟავის}}, \text{ საიდანაც } [H^+] = \sqrt{K_{\text{მჟავის}} \cdot C_{\text{მჟავის}}} \quad (2)$$

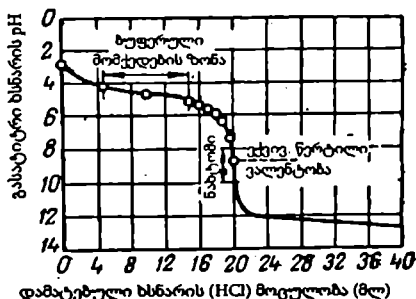
საბოლოოდ მიიღება შემდეგი გამოსახულება

$$pH = \frac{pK_{\text{მჟავის}} + pC_{\text{მჟავის}}}{2}$$

ე.ი. pH სუსტი მჟავის ხსნარის ტოლია შებრუნებული ლოგარითმის ელექტროლიტური დისოციაციის კოეფიციენტის და მოცემული მჟავის კონცენტრაციის ნახევარჯამის.

მრუდი, რომელიც გამოხატავს გასატიტრი ხსნარის pH-ის მნიშვნელობის დამოკიდებულებას სამუშაო ხსნარის მოცულობაზე ეწოდება გატიტრის მრუდი. გატიტრის მრუდი, რომ ავაგოთ, უნდა გავითვალისწინოთ შემდეგი:

1. გამოსავალი წერტილი გატიტრის, რომელიც შეესაბამება შესაბამის pH-ს გატიტრის დაწყებამდე. ეს წერტილი ყოველთვის იმყოფება ვერტიკალურ ხაზზე, რომელიც შეესაბამება 0 მლ სამუშაო ხსნარს.
2. ექვივალენტობის წერტილი, რომელიც გვიჩვენებს pH-ის რომელი მნიშვნელობის დროს უნდა დამთავრდეს გატიტრა. ის ყოველთვის მდებარეობს ექვივალენტობის ხაზზე.
3. მრუდის შუალედური წერტილები, რომლებიც გვიჩვენებენ როგორც იცვლება გატიტრის დროს pH-ის მნიშვნელობა.



ნახ.25. სუსტი ფუძის და ძლიერი მჟავის გატიტრის მრუდი

ძლიერი მჟავის და ძლიერი ტუტის გატიტრის მრუდი ხასიათდება ზოგიერთი განსაკუთრებული თვისებით:

1. გატიტრის წერტილი მდებარეობს ძლიერ მჟავა გარემოში.
2. ექვივალენტური წერტილი მდებარეობს ნეიტრალიზაციის ხაზზე.
3. გატიტრის დასაწყისში pH იცვლება ნელა. ხოლო მკვეთრი ცვლილება შეიმჩნევა სამუშაო ხსნარის 0,1 ნაწილის დამატების შემდეგ.

4. გატიტვრის ნახტომი არის დიდი და იცვლება $pH=4$ –დან $pH=10$ –მდე.

ძლიერი მჟავის და სუსტი ფუძის გატიტვრის მრუდი ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

1. ტიტრის გამოსავალი წერტილი დევს სუსტ ტუტე გარემოში.
2. ექვივალენტური წერტილი დევს სუსტ მჟავა გარემოში.
3. გატიტვრის მრუდის ცვლილება მცირეა $pH=4$ –დან $pH=6$ –მდე.

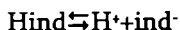
ნეიტრალიზაციის რეაქციაში გამოყენებული ინდიკატორები

ნეიტრალიზაციის მეთოდში გამოყენებული ინდიკატორები არიან ნივთიერებები, რომლებიც იცვლიან თავიანთ ფერს pH -ის განსაზღვრული ინტერვალის დროს.

სხვადასხვა შემთხვევაში გატიტვრა მთავრდება pH -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებით და ამის გამო აუცილებელია ვიცოდეთ როგორი გატიტვრის დროს რომელი ინდიკატორი უნდა გამოვიყენოთ. ინდიკატორების არჩევისას რომ არ დავუშვათ შეცდომა, საჭიროა ვიცოდეთ მათი ქიმიური შედგენილობა და მიზეზები რაც იწვევს მათ ფერის ცვლილებას.

ინდიკატორების უმრავლესობა არის სუსტი ორგანული მჟავები ან ფუძეები. ამიტომ ინდიკატორის მოლეკულა შეიძლება აღვნიშნოთ $Hind$ ან $indOH$ –ის სახით.

თუ ინდიკატორი მჟავაა, მაშინ ხსნარში ის დისოცირდება იონებად:



ინდიკატორების იონური თეორიიდან გამომდინარე ინდიკატორის ფერის ცვლილებას იწვევს ხსნარში წონასწორობის გადახრა. თუ წონასწორობა გადახრილია მარცხნივ, მაშინ ხსნარში ჩნდება ინდიკატორის არადისოცირებული მოლეკულები და ხსნარის შეფერილობა შეესაბამება ინდიკატორის შეფერილობას. წონასწორობის მარჯვნივ გადახრისას ხსნარში ჩნდება ინდიკატორის იონები და ხსნარს

აქვს ანიონის ფერი. თუ ხსნარში თითქმის ერთნაირი კონცენტრაცი-
ით იმყოფება ინდიკატორის როგორც მოლეკულები, ასევე იონები,
ხსნარს აქვს შერეული შეფერილობა.

ინდიკატორების ქრომოფორული თეორიის თანახმად ერთი და
იგივე ინდიკატორი შეიძლება არსებობდეს ორი ფორმით და მოლე-
კულის სხვადასხვა აგებულებით. ეს ფორმები შეიძლება გადავიდეს
ერთმანეთში და ხსნარში მათ შორის დამყარდეს წონასწორობა. მაგა-
ლითად, ფენოფტალეინის მოლეკულა ტუტეების და მჟავების გავ-
ლენით განიცდის სტრუქტურულ ცვლილებას. ფორმებს შორის წო-
ნასწორობა მყარდება ნელ-ნელა. ამიტომ ინდიკატორის ფერიც იც-
ვლება ნელ-ნელა. ის ჯერ გადადის შერეულ შეფერილობაში, შემდეგ
კი ანიონის ფერში. თუ შეფერილი ნაწილაკების რაოდენობა 10 %-ს
არ აღემატება, ფერი არ შეიმჩნევა. შეფერილობა ხდება მკვეთრი, რო-
ცა შეფერილი ნაწილაკების რაოდენობა 90 %-ს აღემატება.

იმისათვის, რომ გავარკვეოთ pH-ის როგორი მნიშვნელობისთვი-
საა შესაძენვე ინდიკატორის ფერის ცვლილება, უნდა გამოვიყენოთ
ინდიკატორის დისოციაციის კონსტანტა.

$$K_{\text{ინდ.}} = \frac{[H^+][\text{ind}^-]}{[\text{Hind}]} \quad (1)$$

აქედან გამომდინარე ინდიკატოს აქვს შუალედური შერეული შე-
ფერილობა მაშინ, როცა იონების კონცენტრაცია ტოლია არადისოცი-
რებული იონების კონცენტრაციისა ინდიკატორის მოლეკულაში,
ე.ი.

$$\frac{[\text{ind}]}{[\text{Hind}]} = 1.$$

(1) ტოლობიდან გამომდინარე მივიღებთ $[H^+] = K_{\text{ინდ.}}$ და $pH = pK_{\text{ინდ.}}$.
ე.ი. ინდიკატორს აქვს შერეული შეფერილობა, თუ მისი $pH = pK_{\text{ინდ.}}$.
თუ $[\text{ind}] = 10\%$ და $[\text{Hind}] = 90\%$ ე.ი. ფარდობა

$$\frac{[\text{ind}]}{[\text{Hind}]} = \frac{10}{90} = \frac{1}{9} \approx \frac{1}{10}$$

ინდიკატორების ფერის ცვლილება დისოციაციის ხარისხზე
დამოკიდებულებით

ინდიკატორის დისოციაციის ხარისხი	ხსნარი არის		ხსნარი იფერება
	მოლეკულა	იონი	
<10	ბევრი	ძალიან ცოტა	მოლეკულები
>10, მაგრამ <50	ბევრი	ცოტა	მოლეკულა, რომელიც შეფერილია იონის ფერზე
50	ნახევარი	ნახევარი	შერეული
>50, მაგრამ <90	ცოტა	ბევრი	იონები, რომელიც შე- ფერილია მოლეკულის ფერზე
<90	ძალიან ცოტა	ბევრი	იონები

ჩავსვათ ეს მნიშვნელობა (1) ტოლობაში

$$[H^+] \cdot \frac{1}{10} = K_{\text{ინდ.}} \quad [H^+] = \frac{K_{\text{ინდ.}} \cdot 10}{1}$$

$$pH = pK_{\text{ინდ.}} - 1.$$

ინდიკატორის შეფერილობა თავდება, როცა

$$\frac{[\text{ind}]}{[\text{Hind}]} = \frac{90}{10} \approx 10$$

საიდანაც, ისევ (1) ტოლობაში ჩასმით მივიღებთ:

$$[H^+] \cdot 10 = K_{\text{ინდ.}} \quad [H^+] = \frac{K_{\text{ინდ.}}}{10}$$

$$pH = pK_{\text{ინდ.}} + 1.$$

ე.ი. ტუტის დამატებით მუჟავაზე ინდიკატორის შეფერილობის ცვლილება იწყება $pH = pK_{\text{ინდ.}} - 1$ და ინდიკატორი ახალ შეფერილობას მიიღებს, როცა $pH = pK_{\text{ინდ.}} + 1$.

pH -ის მნიშვნელობა, როცა ინდიკატორი იცვლის ფერს, იწოდება ინდიკატორის გადასვლის ინტერვალად.

ძირითადი ინდიკატორების ფერის ცვლილება სხვადასხვა გარემოში

ინდიკატორი	$K_{\text{ახდ}}$	$pK_{\text{ახდ}}$	pH-ის გადას- ვლის ინ- ტერვალი	ფერი		
				ძლიე- რი მჟა- ვა გა- რემო	ძლიერი ტუტე გა- რემო	$pH=pK_{\text{ახდ}}$ დროს
მეთილნარინ- ჯი	$1,8 \cdot 10^{-4}$	4	3,1-4,4	ვარ- დის ფერი	ყვითელი	ნარინ- ჯისფე- რი
მეთილი წითე- ლი	10^{-5}	5	4,2-5,2	წითე- ლი	ყვითელი	ნარინჯის ფერი
ფენოლფტა- ლეინი	$2 \cdot 10^{-10}$	10	8,2-10	უფერო	მალინის- ფერი	ვარდის ფერი

ნეიტრალიზაციის მეთოდის დროს ძირითადად გამოიყენება მე-
თილნარინჯი, მეთილის წითელი და ფენოლფტალეინი.

მეთილნარინჯი არის n – დიმეთილამინოაზობენზოლსულფომ-
ჟავის ნატრიუმის მარილი. ის გამოიყენება, მაშინ თუ ხსნარში ძლიე-
რი მჟავა იმყოფება და ფერის გადასვლის ინტერვალი ტოლია
 $pH=3,1$ –დან $pH=4,4$ –მდე. ეს ინდიკატორი მკვეთრ შეფერილობას ვერ
იძლევა გატიტრის დროს და გამოიყენება ისეთი ხსნარების გატიტ-
რისას, რომელთა კონცენტრაცია $0,5$ ნ–ზე მეტია.

მეთილი წითელი – არის n – დიმეთილამინოაზობენზოლკარბო-
ნის მჟავა. მისი გადასვლის ინტერვალი ტოლია $pH=4,2$ –დან
 $pH=6,2$ –მდე. იყენებენ იმ შემთხვევაში, თუ ხდება ისეთი ხსნარების
გატიტრა, რომელთა ექვივალენტობა ახლოსაა ნეიტრალურ გარე-
მოსთან. მეთილის წითელს ახასიათებს უფრო მკვეთრი ფერის
ცვლილება, ვიდრე მეთილნარინჯს.

ფენოლფტალეინის – გადასვლის ინტერვალი $pH=8,2$ –დან
 $pH=10$ –მდე იყენებენ ისეთი გატიტრის შემთხვევაში, თუ გამოყენე-
ბულია სუსტი მჟავა. ის იოლად განიცდის ჰაერის ნახშირორჟანგის
გავლენას და უფერულდება, ამიტომ გატიტრისას ეს უნდა იყოს

გათვალისწინებული.

ნეიტრალიზაციის მეთოდის გამოყენება

ქლორწყალბადმყავას 0,1N საშუალო ხსნარის მომზადება.

HCl-ის გატიტრული ხსნარის მომზადება კონცენტრირებული მარილმჟავიდან შეუძლებელია, ამიტომ ამზადებენ დაახლოებით 0,1N ხსნარს და მის ტიტრს ადგენენ. ასეთი ხსნარის 1 ლიტრის დასამზადებლად იღებენ 8 მლ.კონცენტრირებულ HCl-ს ($\rho=1,19\text{ გ/სმ}^3$).

HCl-ის ტიტრის დადგენა. გამოსავალი ნივთიერებაა ნატრიუმის კარბონატი Na_2CO_3 ან ნატრიუმის ტეტრაბორატი $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (ბორაქსი). რეაქციის დასრულების დასადგენად სარგებლობენ მეთილნარინჯით ან მეთილის წითელით: ამზადებენ ბორაქსის 0,1N ხსნარს. ამ მიზნით ანალიზურ სასწორზე წონიან 1,9072გ გადაკრისტალებულ ბორაქსს და ათავსებენ 100მლ ტევადობის საზომ კოლბაში, რომელსაც შეავსებენ ჭდეშდე დისტილირებული წყლით. 250მლ-იან კონუსურ კოლბაში პიპეტით გადმოიტანენ 10მლ ბორაქსის ხსნარს, განაზავებენ დისტილირებული წყლით და უმატებენ 3-4 წვეთ მეთილნარინჯს. მეორე ასეთივე კოლბაში ამზადებენ ხსნარ «მოწმეს» ამისათვის კოლბაში ასხმენ დისტილირებულ წყალს 50-60 მლ ოდენობით, უმატებენ 3-4 წვეთ მეთილნარინჯს, 1 წვეთ მჟავას (ბიურეტიდან). ხსნარი ღებულობს ვარდისფერს. ბორაქსის ხსნარს ტიტრავენ 0,1 N HCl-ით, ვიდრე გასატიტრი ხსნარი ვარდისფერს («მოწმეს» ფერს) არ მიიღებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ იგი გატიტრულია. ცდას იმეორებენ რამდენჯერმე და გამოითვლიან HCl-ის ხსნარის ზუსტ ნორმალობას და ბორაქსის მიმართ მის ტიტრს.

0,1N NaOH საშუალო ხსნარის მომზადება. NaOH ხსნარის მომზადება ზუსტად აღებული წონაკით შეუძლებელია ვინაიდან მყარი ტუტე ყოველთვის შეიცავს წყალსა და კარბონატებს. მაშასადამე NaOH-ის რაოდენობა აღებულ წონას არ შეესაბამება.

45 გ სუფთა NaOH ათავსებენ ფაიფურის ჯამზე და ხსნიან 60 მლ დისტილირებულ წყალში. ნატრიუმის კარბონატის ნალექს აცდიან დაწვდომას, ხოლო ტუტის ხსნარს ფრთხილად გადმობრავენ სუფთა კოლბაში და უმატებენ ახლადგამოხდილ 950 მლ დისტილირებულ წყალს. მიიღება დაახლოებით 1N კონცენტრაციის ტუტის ხსნარი, რომლის 10-ჯერ განზავებით მიიღებენ 0,1N NaOH ხსნარს, ტუტის ხსნარმა ჰაერიდან რომ არ შთანთქმას ნახშირბად(IV)-ის ოქსიდი, ხსნიან ჭურჭელს უკეთებენ საცობს ნატრიუმის კირით შევსებული მშთანთქავი მილით.

ტუტის ხსნარის ტიტრის დადგენა 0,1N მჟაუნმჟავას ხსნარის მიხედვით: ამზადებენ 0,1N მჟაუნმჟავას ხსნარს. ამისათვის 0,6304 გ მჟაუნმჟავას წონაკს წონიან ანალიზურ სასწორზე და 100მლ ტევადობის საზომ კოლბაში ამზადებენ ხსნარს.

250 მლ ტევადობის ორ კონუსურ კოლბაში პიპეტით ათავსებენ მჟაუნმჟავას ხსნარის 10-10 მლ-ს. უმატებენ 1-2 წვეთ ფენოლფტალეინს და ტიტრავენ 0,1N ტუტის ხსნარით ღია ვარდისფერის მიღებამდე. შეფარვა არ უნდა გაქრეს 30 წმ-ის განმავლობაში. გატიტვრის მიხედვით მიღებული შედეგებით გამოითვლიან ტუტის ხსნარის ზუსტ კონცენტრაციას.

3.7. ხსნარში ტუტის შემცველობის განსაზღვრა

ამ დროს NaOH -ის 0,1N ხსნარს დამზადებისას იღებენ 0,4 გ NaOH და გადააქვთ 100 მლ-იან საზომ კოლბაში და უმატებენ გამოხდილ წყალს ნიშან-ხაზამდე. შემდეგ იღებენ მისგან 25 მლ, უმატებენ 2 წვეთ მეთილნარინჯს მიიღება ყვითელი შეფერილობა. ამის შემდეგ ტიტრავენ 0,1N HCl -ის ხსნარით. გატიტვრას აწარმოებენ სამჯერ და იღებენ დახარჯული რაოდენობის საშუალო არითმეტიკულს.

ვთქვათ 25 მლ 0,1N ტუტის ხსნარის გატიტვრაზე დაიხარჯა

24,2 მლ მარილმჟავას ხსნარი, რომლის ნორმალობის კოეფიციენტი $K_{HCl}=0,1028N$ (ანუ დაიხარჯა გატიტვრაზე $24,2 \cdot 0,1028=24,87$ მლ ნორმალური ხსნარი), მაშინ დაიხარჯებოდა 24,87 მლ მარილმჟავა 0,1 ნორმალობის ხსნარი.

1 მლ 0,1N HCl შეესაბამება 0,004 გ NaOH

24,87 _____ x

$$x = \frac{0,004 \cdot 24,87}{1} \cdot 4 = 0,3979 \text{ გ NaOH}$$

ე.ი. 0,4 გ საანალიზო NaOH არის 0,3979 გ NaOH.

ამიტომ 0,4 გ საანალიზო ტუტე შეიცავს 0,3979 გ NaOH.

100 _____ x

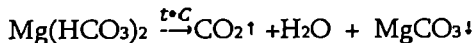
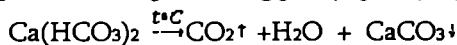
x=99,48 %

ე.ი. საანალიზო აღებულ ნატრიუმის ტუტეში NaOH რაოდენობა ტოლია 99,48 %.

წყლის სიხისტის განსაზღვრა

სასმელი და სხვა ბუნებრივი წყლები შეიცავენ სხვადასხვა სახის გახსნილი კალციუმისა და მაგნიუმის მარილს. წყლის სიხისტე გამოწვეულია წყალში გახსნილი კალციუმისა და მაგნიუმის მარილებით არჩევენ წყლის გარდამავალ ანუ დროებით სიხისტეს და მუდმივ სიხისტეს.

წყლის გარდამავალი ანუ დროებითი სიხისტე გამოწვეულია მასში გახსნილი კალციუმისა და მაგნიუმის ჰიდროკარბონატებისაგან. წყლის ადუღებით ჰიდროკარბონატები იშლებიან და ნალექის სახით კარბონატებად გარდაიქმნებიან:



შედეგად წყალი დარბილდება, რასაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ხისტ წყალში საპონი ძნელად ქაფდება და მის ზედმეტ დანახარჯს იწვევს, ცუდად იხარშება ზოსტნეული და სხვა პროდუქტები, წყლის გამათბობელ სისტემაში ჩნდება მინადული, რომელიც ძირითადად კალციუმისა და მაგნიუმის

უხსნადი მარილებისგან სულფატებისაგან, კარბონატებისაგან,

წყლის მუდმივი სიხისტე ბუნებრივ წყლებში გამოწვეულია კალციუმისა და მაგნიუმის ქლორიდებისა და სულფატების არსებობით. წყლის დუდილის დროს ეს მარილები უცვლელი რჩება. გარდამავალი ანუ დროებით სიხისტის არსებობა ბუნებრივ წყლებში გამოწვეულია კარბონატულ ქანებზე დედამიწის წიაღში - ქერქში, წყლისა და ნახშირმჟავას მოქმედებით:



მუდმივი და გარდამავალი (კარბონატული) სიხისტის ჯამი იძლევა წყლის საერთო სიხისტეს. საქართველოში წყლის სიხისტეს გამოსახავენ 1ლ წყალში კალციუმისა და მაგნიუმის ხსნადი მარილების მილიგრამ-ექვივალენტთა რიცხვით. ადრე არსებობდა წყლის სიხისტის «გრადუსებში» გამოსახვის წესი. ერთი «სიხისტის გრადუსი» შეესაბამება წყალში გახსნილი კალციუმისა და მაგნიუმის მარილების შემცველობის იმ რაოდენობას, რომელიც ექვივალენტურია ერთი გრამი CaO -ის 100 მლ წყალში.

კარბონატული სიხისტის განსაზღვრის მიზნით, ბუნებრივ ან ონკანის წყალი, 100მლ -ს ასხამენ ერლენმეიერის კოლბაში, უმატებენ 2-3 წვეთ მეთილნარინჯს და ტიტრავენ 0,1N-ის მარილმჟავას ხსნარით. გატიტრა ხდება მანამ, სანამ მთელი ხსნარი ყვითელი ფერიდან მოვარდისფრო-ნარინჯისფერში არ გადავა. გატიტრას აწარმოებენ ინტენსიური მორევის პირობებში.

დავუშვათ, რომ საანალიზოდ აღებულ 100 მლ წყლის გატიტრაზე დაიხარჯა მარილმჟავას 2,5 მლ. რადგან 1000 მლ მარილმჟავას ხსნარის გასანეიტრალებლად საჭიროა $\text{Mr}(\text{CaCO}_3)/(2 \cdot 10) = 5,0045 \text{ გ CaCO}_3$. მაშინ 1 მლ 0,1N Cl -ის ხსნარის გასანეიტრალებლად საჭირო იქნება $5,0045 \cdot 10^{-3} \text{ CaCO}_3$. ხოლო დახარჯული 2,5 მლ 0,1N მარილმჟავას ხსნარის გასანეიტრალებლად საჭირო იქნება $5,0045 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 = 0,0125 \text{ გ. CaCO}_3$. ე. ი. მივიღებთ, რომ 100 მლ წყალი შეიცავს 0,0125 გ CaCO_3 -ს რაც ფრანგულ გრა-

დუსებში უდრის

$0,0125 \cdot 1000 / 100 = 12,5\text{გ.}$

$\text{Mr}(\text{CaCO}_3)$ _____ $\text{Mr}(\text{CaO})$

12,5გ _____ X

$$X = 56,09 \cdot 12,5 / 100,09 = 7$$

წყალში გარდამავალი სიხისტის განსაზღვრა

ავიღოთ 100 მლ სასმელი წყალი. დავუმატოთ 1-2 წვეთი მეთილნარინჯი. შემდეგ გავტიტროთ ვარდისფერის მიღებამდე 0,1N HCl-ის ხსნარით. გარდამავალი სიხისტე გამოითვლება ფორმულით $x = N_{(\text{HCl})} \cdot V_{(\text{HCl})} \cdot 10$.

ამიტომ თუ დაიხარჯა 3,7 მლ 0,1N HCl-ის ხსნარი, ყოველ 100 მლ წყალზე, მაშინ გარდამავალი სიხისტე ტოლია

$$x = 3,7 \cdot 0,1 \cdot 10 = 3,7 \text{ მგ ექვ/ლ}$$

ფქვილის მჟავიანობის განსაზღვრა

ფქვილი არის ის ნედლეული, რომლისგანაც უნდა დამზადდეს ჯერ ცომი, შემდეგ კი პური. ფქვილის მჟავიანობა გავლენას ახდენს როგორც ცომის, ასევე პურის მჟავიანობაზე. ამავე დროს განსაზღვრავს ფქვილის სიახლეს. ფქვილის მჟავიანობა დამოკიდებულია მის ხარისხზე, მასში ფერმენტების აქტივობაზე, ფქვილის შენახვის ხანგრძლივობასა და პირობებზე.

შენახვისას ფქვილის მჟავიანობა იზრდება. ფქვილის, პურის და პურის ნახევარ ფაბრიკანტების მჟავიანობა გამოისახება ნეიმანის გრადუსებით ($^{\circ}\text{H}$). ნეიმანის გრადუსი გამოსახავს ნორმალური ნატრიუმის ტუტის იმ რაოდენობას, მლ-ში რომელიც საჭიროა 100გ, ფქვილში ან სხვა პროდუქტში არსებული მჟავიანობის გასაანეიტრალებლად.

მიღებულია ფქვილის მჟავიანობის შემდეგი ნორმები:

უმაღლესი ხარისხის ხორბლის	2,5 – 3,0 (°H).
პირველი ხარისხის ხორბლის	3,0 – 3,5 (°H).
მეორე ხარისხის ხორბლის	4,0 – 4,5 (°H).
ცხელი ხორბლის	4,5 – 5,0 (°H).

მჟავიანობა ისაზღვრება ფქვილის ნადღევში. რისთვისაც ტექნიკურ სასწორზე წონიან 5 გ. ნიმუშს, მას გადაიტანენ 100 – 150 მლ მოცულობის კონუსურ კოლბაში, შემდეგ ნელ-ნელა მასში ასხამენ 5 მლ. გამოხდილ წყალს, მიღებულ ფქვილის მასას ანჯღრევენ სრულ გახსნამდე. ნადღევს უმატებენ 5 წვეთ 1%-იან ფენოლფტალეინის ხსნარს და ტიტრავენ 0,1N NaOH-ის, ხსნარით მოწითალო - ვარდისფერ შეფერილობამდე. შეფერილობა უნდა შეინარჩუნოს 1 წუთის განმავლობაში. ცდას იმეორებენ ორჯერ. შედეგებს შორის სხვაობა არ უნდა აღმატებოდეს 0,3°H.

მჟავიანობას (°H) საზღვრავენ ფორმულით:

$$X=a \cdot 100 \cdot K / (5 \cdot 10) = 2 \cdot a \cdot K$$

სადაც - a არის 0,1 N-ის NaOH-ის, ხსნარის რაოდენობა მლ-ში რომელიც ნადღევების გატიტვრაზე დაიხარჯა.

100 - კოეფიციენტი 100 გ ფქვილზე გასადაყვანად

5 - საანალიზოდ აღებული ფქვილის რაოდენობა გ-ში.

K - ტუტის შესწორების კოეფიციენტი

1/10 დეცინორმალური ხსნარის კოეფიციენტი 1 N ხსნარში გადასაყვანად.

მაგალითისათვის საანალიზოდ აღებული იყო მეორე ხარისხის ფქვილის 5 გრამი, რომლის გატიტვრაზეც დაიხარჯა 2 მლ 0,1N-ის NaOH. ტუტის შესწორების კოეფიციენტი ტოლია ერთის, ამიტომ

$X=2 \cdot a \cdot K=2 \cdot 2 \cdot 1=4^{\circ}H$. მიღებული მჟავიანობა აკმაყოფილებს მეორე ხარისხის ხორბლის ნორმას.

პურის გულის მჟავიანობის განსაზღვრა.

პურის გულის მჟავიანობის მეორე ხარისხის ხორბლის პურ-

ში უნდა იყოს 4 - 4,5°H. პირველი ხარისხისათვის ის შეადგენს 3- 3,5°H. საანალიზოდ პურს რომლის მასა 200გ-ზე მეტია გაჭრიან შუაზე და მისი ერთი ნაწილიდან საანალიზოდ მოაცილებენ 1 სმ -ის სისქის ქერქს. თუ პროდუქტი 200გ-ზე ნაკლებია, მაშინ მას დაუნაწილებლად, მთელ ქერქს და გულს აქუცმაცებენ და კარგად აურევენ ერთმანეთში.

პურის გულის მეკავიანობა შეიძლება განისაზღვროს ორი მეთოდით: დაჩქარებული და არბიტრის მეთოდით. პურის გულის მეკავიანობის განსაზღვრა ხდება შემდეგნაირად: ტექნოლოგიურ სასწორზე წონიან 25 პურის გულის დაქუცმაცებულ ნიმუშს. ის გადააქვთ 500მლ მოცულობის კოლბაში. 250 მლ-იან საზომ კოლბაში ნიშანხაზამდე ჩაასხამენ ოთახის ტემპერატურის მქონე გამოხდილ წყალს. მის 1/4 ნაწილს დაასხამენ საანალიზოდ აღებული დაქუცმაცებულ პურის გულზე და ხსნიან ხის წკირით მორევით სათანადო ერთგვაროვანი მასის მიღებამდე. შემდეგ მასზე დაასხამენ საზომ კოლბაში დარჩენილ გამოხდილ წყალს და კოლბას კარგად დაახურავენ საცობს. 10 წუთის დაყოვნების შემდეგ ანჯღრევენ 2 წუთს და კვლავ აყოვნებენ 8 წუთს. შემდეგ მიღებულ მთლიან მასას წურავენ წმინდა საცერში ან სუფთა თხელ ქსოვილში, ორ კონუსურ 100-150 მლ ტევადობის კოლბაში/ აქედან საანალიზოდ პიპეტით იღებენ 50მლ გამონაწურს, ასხამენ პატარა მოცულობის ერენმეიერის კოლბაში. უმატებენ 2-3 წვეთ ფენოლფტალეინს და ტიტრავენ 0,1N NaOH-ის. ხსნარით, ვიდრე მთლიანი ხსნარის ნარევი არ შეიფერება მოწითალი-ვარდისფრად (ხსნარი შეფერილობას ინარჩუნებს ერთ წუთს). მეავურობას განსაზღვრავენ ფორმულით

$$X = \alpha \cdot k \cdot 100 \cdot 250 / (50 \cdot 25 \cdot 10) = 2 \cdot \alpha \cdot k$$

სადაც α - არის 0,1N-ის NaOH-ის ხსნარის რაოდენობა მლ-ში 100-კოეფიციენტი 100 გ ფქვილზე გადასაყვანად. 250 გ გამოხდილი წყლის რაოდენობა მლ-ში, რომელიც დაიხარჯა პურის გულის გასახსნელად. 100-გადაანგარიშება 100 გ პურზე. 50-გასა-

ტიტრად აღებული საკვლევი ხსნარის გამონაწურის რაოდენობა მლ. 25 -საანალიზოდ აღებული ნიმუშის წონაა გრამებში. 1/10 - კოეფიციენტი დეცინორმალური 1N- ში გადასაყვანად.

3.8. დალექვისა და კომპლექსწარმოქმნის მეთოდები

დალექვის მეთოდი აერთიანებს იმ ტიტრომეტრულ განსაზღვრებს, რომელთა დროს განსასაზღვრავ ნივთიერებასა და სამუშაო ხსნარს შორის რეაქციის შედეგად ხდება ამა თუ იმ იონის რაოდენობრივი დალექვა. დალექვის მეთოდში გამოყენებულ რეაქციებს შემდეგი მოთხოვნები წაეყენება:

1. ნალექი უნდა იყოს პრაქტიკულად უხსნადი; 2. იგი სწრაფად უნდა გამოიყოს; 3. არ უნდა მიმდინარეობდეს თანაური კონკურენტული რეაქციები; 4. ეკვივალენტობის წერტილი ადვილად უნდა ფიქსირდებოდეს.

ეკვივალენტობის წერტილი ფიქსირდება იმ მომენტში, როდესაც საკვლევი ნივთიერება მთლიანად გადადის ნალექში. რეაქციის დასრულება განისაზღვრება ინდიკატორების დახმარებით. გამოყენებული დამლექავის მიხედვით დალექვის მეთოდები იყოფა: არგენტუმ-მეტრიის, მერკურმეტრიის და კომპლექსწარმოქმნის მეთოდებად.

ტიტრიმეტრიაში დამლექავ რეაქტივად ყველაზე ხშირად იყენებენ ვერცხლის ნიტრატის AgNO_3 ხსნარს. ამ რეაქტივის მოქმედებაზე დამყარებულ მეთოდებს არგენტუმ-მეტრიის მეთოდები ეწოდება. ეს მეთოდები განკუთვნილია ქლორიდების, ბრომიდების, იოდიდებისა და როდანიდების განსაზღვრისათვის.

ჰალოგენები განისაზღვრება აგრეთვე მათი ვერცხლისწყლის ძნელადხსნადი მარილების სახით დალექვის შედეგადაც. ამ მეთოდს მერკურმეტრია ეწოდება.

დალექვის მეთოდთან ახლოსაა კომპლექსწარმოქმნის მეთოდები ე.ი. განსაზღვრები, რომლებიც კომპლექსური იონების წარმოქმნის

რეაქციებზეა დამყარებული. ამ მეთოდში გამოყენებულ ძირითად რეაქტივებს კომპლექსონები ეწოდება. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია კომპლექსონი III, რომელიც კატიონების დიდი რიცხვის განსაზღვრისათვის გამოიყენება.

3.8.1 არგენტუმეტრია

არგენტუმეტრიის მორის მეთოდი ქლორიდების ან ბრომიდების შემცველობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. ქლორიდს AgNO_3 -ის სტანდარტული ხსნარით ტიტრავენ, ხოლო ინდიკატორად კალიუმის ქრომატს K_2CrO_4 უმატებენ. ქლორიდის სრული დალექვის მომენტისათვის ვერცხლის იონის სიჭარბე ქრომატთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ვერცხლის ქრომატის წითელ ნალექს:

$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \text{ (მყ)} - \text{გატიტვრის რეაქცია}$

$2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ (მყ)} - \text{რეაქცია გატიტვრის ბოლო წერტილში}$

ეკვივალენტობის წერტილის სიახლოვეს, ტიტრანტის დამატების დროს, ხსნარის ცალკეულ უბნებში ჩნდება ვერცხლის იონის ჭარბი რაოდენობა, რაც არამდგრად წითელ შეფერვას იწვევს, მაგრამ გატიტვრის ჭეშმარიტი დასრულების წერტილი დადგება ქრომატის ხსნარის ყვითელი შეფერვის საბოლოო გაქრობის მომენტში. ვერცხლის ქრომატის ისეთი რაოდენობით წარმოქმნისათვის, რომ შეიძლებოდეს მისი შემწნევა AgCl -ის თეთრი ნალექისა და ქრომატის ყვითელი ხსნარის ფონზე, საჭიროა AgNO_3 -ის გარკვეული სიჭარბე, ამიტომ ნიმუშის გატიტვრაზე დახარჯულ AgNO_3 -ის მოცულობას უნდა გამოაკლდეს AgNO_3 -ის ის მოცულობა, რომელიც ინდიკატორის დასალექადაა საჭირო ბრმა ცდაში. ქრომატის მეტისმეტად დიდი რაოდენობით დამატების შემთხვევაში გატიტვრის საბოლოო წერტილი წინ უსწრებს ეკვივალენტობის წერტილს. თუ ქრომატი ხსნარში არასაკმარისი რაოდენობით ემატება, მაშინ საბოლოო წერტილი ფიქსირდება უფრო გვიან. მორის მეთოდში დიდ როლს ას-

რულებს ხსნარის მჟავიანობა. pH-ის ოპტიმალური წიგნი დაახლოებით 8-ის ტოლია.

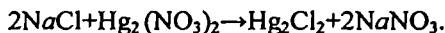
AgNO_3 -ის 0,05N სამუშაო ხსნარის მომზადება. გერცხლის ნიტრატის არ მიეკუთვნება იმ ნივთიერებებს, რომლებიც განაღებენ და მზადდება დასახული კონცენტრაციის ხსნარი ზუსტად აღებული წონაკით, ამიტომ ამზადებენ მიახლოებითი კონცენტრაციის ხსნარს და შემდეგ ადგენენ მის ტიტრს. მარილის აუცილებელ წონაკს (18,5 გ AgNO_3 1ლ ხსნარზე) წონიან ტექნიკურ სასწორზე 0,1გ სიზუსტით, ხოლო წყლის საჭირო რაოდენობას უმატებენ საზომი ცილინდრით. მომზადებულ ხსნარს ინახავენ სიბნელეში, ვინაიდან AgNO_3 სინათლეზე იშლება, მაგრამ ასეთი შენახვის დროსაც კი AgNO_3 -ის ხსნარის ტიტრი იცვლება და დროდადრო საჭიროა მისი შემოწმება.

გამოსავალი ხსნარის დამზადება. 0,05N NaCl -ის ხსნარის დასამზადებლად ანალიზურ სასწორზე წონიან 0,2922 გ NaCl -ს და რაოდენობრივად გადააქვთ 100 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში. დისტილირებული წყლით ანზავებენ ჭდემდე და ურევვენ.

AgNO_3 -ის ხსნარის ტიტრის განსაზღვრა. ინდიკატორად იყენებენ კალიუმის ქრომატის 5%-იან წყალხსნარს. ბიურეტს ავსებენ AgNO_3 -ის ხსნარით, პიპეტით იღებენ 0,05N NaCl -ის ხსნარის 10 მლ-ს, გადააქვთ 250 მლ-იან კონუსურ კოლბაში, უმატებენ 0,5მლ ინდიკატორის ხსნარს, ანზავებენ გამოხდილი წყლით ნელ-ნელა ტიტრავენ 0,05N AgNO_3 -ით, განუწყვეტელი მორევით, სუსპენზიის ფერის პირველი მდგრადი ცვლილების გამოჩენამდე. საჭიროა იმ მომენტის დაჭერა, როდესაც სუსპენზიის ლიმონისფერ-ყვითელი შეფერვა წვეთი AgNO_3 -გან ოდნავ მოწითალო ელფერს მიიღებს.

3.8.2. მერკურმეტრია

ქლორიდების განსაზღვრა ძნელადხსნადი ნაერთის Hg_2Cl_2 წარმოქმნაზე დამყარებული:



სამუშაო ხსნარია ვერცხლისწყლის (1) ნიტრატი $Hg_2(NO_3)_2$, მისი ტიტრის დასადგენად გამოსავალ ნივთიერებად იყენებენ ნატრიუმის ქლორიდს. ინდიკატორად კი – დიფენილკარბაზონის ან რკინის (III) როდანიდის $Fe(SCN)_3$ ხსნარს.

დიფენილკარბაზონი Hg_2^{2+} -იონებთან წარმოქმნის ლურჯი ფერის ნალექს, რომელიც $6N HNO_3$ -ში იხსნება, ამიტომ განსაზღვრის ჩატარება შეიძლება სუსტი მჟავური თვისების ხსნარებშიც და უფრო მეტად მჟავა ხსნარებშიც (მაგრამ არა უმეტეს, ვიდრე $5N HNO_3$ -ის მიმართ), რაც ქმნის საფუძველს ამ ინდიკატორის უპირატესად გამოყენებისათვის. მეთოდის ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ გატიტვრის პროცესებში ხსნარი თანდათან ცისფერი ხდება, რაც ხელს უშლის ეკვივალენტობის წერტილის დაფიქსირებას, ამიტომ რეკომენდირებულია წინასწარ საორიენტაციო გატიტვრის ჩატარება 1 მლ-მდე სიზუსტით. განმეორებითი გატიტვრის დროს ინდიკატორს ხსნარში მაშინ უმატებენ, როდესაც გატიტვრის ბოლომდე დასამატებელი რჩება სამუშაო ხსნარის 1,5–2 მლ. ასეთ შემთხვევაში ეკვივალენტობის მოლურჯო-იისფერი შეფერვის გამოჩენის ფიქსირება გაცილებით უფრო ადვილად შესაძლებელი.

აღსანიშნავია, რომ ქლორიდების განსაზღვრის მერკურმეტრული მეთოდი არგენტუმმეტრულთან შედარებით ნაკლები სიზუსტით ხასიათდება.

3.8.3. კომპლექსონმეტრული მეთოდი

მეთოდი დამყარებულია კომპლექსონებთან ლითონების კატიონების კომპლექსწარმოქმნის რეაქციაზე. ამ დროს მიიღება ძალიან

მდგრადი, წყალში კარგად ხსნადი შიგაკომპლექსური ნაერთები. მე-
თოდი მაღალი სისწრაფითა და სიზუსტით გამოირჩევა. სამუშაო
ხსნარებად გამოიყენება ამინპოლიკარბონმჟავების წარმოებულები.
სამუშაო ხსნარისათვის იყენებენ ეთილდიამინტეტრამმარმჟავა დი-
ნატრიუმის მარილს (ედტა), რომელსაც კომპლექსონ III ან ტრილონ
B-ს უწოდებენ.

კომპლექსონმეტრული გატიტრის დროს დაცული უნდა იქნას
შემდეგი ძირითადი წესი: ეკვივალენტობის წერტილში განსასაზ-
ღვრავი კატიონები პრაქტიკულად შეკავშირებული უნდა იყოს კომ-
პლექსში. კომპლექსების არამდგრადობის კოეფიციენტი უმნიშვნე-
ლო უნდა იყოს.

კომპლექსონის ხსნარით კატიონების გატიტრა შემდეგი პირობე-
ბის დაცვით ტარდება:

1. გასატიტრი ლითონების იონებთან თანაური რეაქციების არასე-
ბობა;
2. ინდიკატორის შეფერვის კონტრასტული გადასვლა;
3. გასატიტრი ხსნარის pH-ის მკაცრად განსაზღვრული მნიშვნელო-
ბა.

კომპლექსონ III-თან ურთიერთქმედებისას ლითონის იონები წყალ-
ბადის იონებს გამოაძევენ, ამის გამო H^+ -იონების კონცენტრაცია გა-
ტიტრის პროცესში იზრდება, რას იწვევს წონასწორობის მარცხნივ
გადანაცვლებას, ამიტომ რეაქცია კომპლექსონ III-სა და ლითონს შო-
რის ბოლომდე არ მიდის და გატიტრა ვერ მთავრდება. H^+ -იონების
შესაბოჭად გატიტრის დაწყებამდე გასატიტრ მჟავებში ბუფერულ
ნარევს უმატებენ. მრავალი კატიონის გატიტრის დროს იყენებენ
შემდეგ ბუფერულ ნარევს $NH_4Cl + NH_4OH$ (pH 8,0–10,0), ოღონდ ხსნა-
რის pH არ უნდა იყოს 10,0-ზე მეტი, ვინაიდან ასეთ შემთხვევაში გა-
მოიყოფა ლითონის ჰიდროქსიდის ნალექი Mg^{2+} და Ca^{2+} განსაზ-
ღვრისათვის pH-ის ოპტიმალური მნიშვნელობა დაახლოებით 9,0-
ის ტოლია. ზოგიერთი კატიონის გატიტრას ატარებენ
 $CH_3COOH + CH_3COONa$ (pH ≈ 6,0) ბუფერული ნარევის გამოყენებით.

კომპლექსური ინდიკატორები რეაგირებს ლითონის განსასაზღვრავი იონების კონცენტრაციის ცვლილებაზე. ანსხვავებენ ინდიკატორების ორ ჯგუფს: სპეციფიკურსა და ლითონქრომულს. სპეციფიკური ინდიკატორები რეაგირებს მხოლოდ გარკვეულ ლითონთან. ასე, მაგალითად, Fe^{3+} –იონებს ტიტრავენ კომპლექსონ III–ით $\text{pH}=2,0$ –ზე, ინდიკატორად იყენებენ კალიუმის როდანიდს, რომელიც Fe^{3+} –თან შეფერილ ნაერთს წარმოქმნის.

ლითონქრომული ინდიკატორები (ლითონინდიკატორები) ორგანული ნივთიერებებია. ისინი ხშირად თავად არის შეფერილი და სხვადასხვა ლითონების იონებთან შეფერილ ნაერთებს წარმოქმნის. ლითონინდიკატორებს pH –ის გარკვეული მნიშვნელობის დროს აქვს ესა თუ ის შეფერვა. ბევრ ლითონთან ისინი წარმოქმნის კომპლექსურ ნაერთებს. განსასაზღვრავი კატიონის კომპლექსონის ხსნარით გატიტრის დროს ეკვივალენტობის წერტილში კატიონის კომპლექსი ინდიკატორთან მთლიანად იშლება. კატიონი უერთდება კომპლექსონს, ვინაიდან თავისუფალი ლითონინდიკატორი შეფერილია. გატიტრის დასრულების წერტილში ხსნარის შეფერვა იცვლება. ინდიკატორთან ლითონის კომპლექსი უფრო ნაკლებად მდგრადი უნდა იყოს, ვიდრე ლითონის კომპლექსი კომპლექსონ III–თან. ეს არის ლითონინდიკატორების გამოყენების ძირითადი პირობა.

ყველაზე ხშირად, ინდიკატორად იყენებენ ერიოქრომ შავი – T–ს $\text{pH } 8,0-10,0$ –პირობებში (ამიაკურ–ბუფერულ ნარევეთან). pH –ის მოცემულ ინტერვალში ამ ინდიკატორის ხსნარს აქვს ლურჯი ფერი – მწვანე ელფერით, იგი მრავალ ლითონთან წარმოქმნის ღვინისფერ – წითელ კომპლექსებს. ამ ინდიკატორთან გატიტრის დროს ეკვივალენტობის წერტილში ხდება შეფერვის გადასვლა ღვინისფერ–წითლიდან მომწვანო – ლურჯ ფერში.

ცნობილია ლითონინდიკატორი მურექსიდი. იგი წყალში ცუდად იხსნება, ამასთან მისი ხსნარი არამდგრადია, ამიტომ სამუშაოდ იყენებენ მურექსიდის მშრალ ნარევს ნატრიუმის ქლორიდთან 1:100

თანაფარდობით. გატიტერის ბოლოს შეფერვა წითლიდან იისფერში გადადის.

3.8.4. კალციუმის განსაზღვრა

ამიაკური ბუფერული ნარევის მომზადება. 100 მლ 20%-იან NH_4Cl -ს ურევნ 100 მლ NH_4OH 20%-იან ხსნარს და ნარევს ანზავე-ბენ გამოხდილი წყლით 1ლ-მდე.

ინდიკატორის მომზადება. 0,5გ ერიოქრომ შავი T-ს ხსნიან 10 მლ ამიაკურ ბუფერულ ნარევში და ხსნარის მოცულობა ეთილის სპირტით მიჰყავთ 100 მლ-მდე. ხსნარი ვარგისია 10 დღე-ღამის გან-მავლობაში.

0,05N კომპლექსონ III (ტრილონ-Б) ხსნარის მომზადება. ტრი-ლონ Б-ს ხსნარი ზუსტი წონაკით შეიძლება დამზადდეს. ტრილონ Б-ს ეკვივალენტური მასა უდრის $372,24:2=186,12$. ხსნარის მოსამზა-დებლად წონაკს გამოთვლიან ფორმულით:

$$q = \frac{N \cdot V_j \cdot \vartheta}{1000}$$

სადაც N – ხსნარის ნორმალობა; V_j – საზომი კოლბის მოცულობა მლ-ში; ϑ – ტრილონ Б-ს ეკვივალენტური მასა.

თუ ამზადებენ დაახლოებით საჭირო კონცენტრაციის ხსნარს, მაშინ მის ტიტრს ადგენენ ტიტრიმეტრულად. გამოსავალ ნივთიე-რებად შეიძლება მაგნიუმის სულფატის $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ გამოყენება. ტრილონ Б-ს ხსნარის ტიტრს გამოთვლიან იმ ლითონის მიმართ, რომელიც ისაზღვრება.

კალციუმის მარილში კალციუმის შემცველობის განსაზღვრი-სათვის დაახლოებით 500 მგ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ წონაკს წონიან ანალიზურ სასწორზე, რაოდენობრივად გადააქვთ 100 მლ მოცულობის საზომ კოლბაში, ხსნიან დისტილირებულ წყალში, ხსნარი მიჰყავთ ჭედმ-დე და ურევნ. კონუსურ კოლბაში პიპეტით გადააქვთ 10 მლ მიღე-

ბული ხსნარი, ანზავებენ გამოხდილი წყლით 70–80 მლ–მდე, უმატებენ 5 მლ ამიაკურ ბუფერულ ნარევს და 5 წვეთ ინდიკატორ ერიოქრომ შავი T–ს ხსნარს. მიღებულ ნარევს ტიტრავენ ტრილონ ნ–ს ხსნარით ღვინისფერ–წითელის ლურჯ ფერში გადასვლამდე. გატიტრის დამთავრების წინ ტრილონ ნ–ს ხსნარი უნდა დაემატოს ფრთხილად, წვეთ–წვეთობით. გატიტრის ბოლოს მოწითალო ელფერი მთლიანად უნდა გაქრეს. ხსნარი გახდება მომწვანო–ლურჯი ფერის.

კალციუმის მასას გამოთვლიან ფორმულით $P_{Ca} = T_{ტრილ} / Ca \cdot V_{ტრილ}$.

კალციუმის პროცენტულ შემცველობას გამოთვლიან ფორმულით: $Ca\% = P \cdot 10 \cdot 100 / Q$, სადაც P–Ca–ის მასაა გატიტრულ ხსნარში გ; Q – $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ წონაკის მასა გ.

საკონტროლო კითხვები.

1. რას ემყარება დალექვის მეთოდები?
2. რომელი საშუაო ხსნარი გამოიყენება მორის მეთოდში და როგორ მზადდება იგი?
3. როგორ ადგენენ $AgNO_3$ –ის მიახლოებითი წონაკით მომზადებული ხსნარის ნორმალობას?
4. რომელი ინდიკატორი გამოიყენება მორის მეთოდში და რას ემყარება მისი გამოყენება?
5. რომელ რეაქციას ემყარება ქლორიდების მერკურმეტრული განსაზღვრა?
6. როგორია და რაზეა დაფუძნებული კომპლექსონმეტრული გატიტრვის ძირითადი პირობები.
7. რომელი ინდიკატორები გამოიყენება ტრილონ ნ–თი გატიტრის დროს?
8. როგორ მზადდება ტრილონ ნ–ს გატიტრული ხსნარი?

3.9. დაჟანგვა-აღდგენის (ოქსიდომეტრული) მეთოდი

ქიმიურ პროცესთა შორის ყველაზე გავრცელებულია ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები, რომელსაც ფართოდ იყენებენ ოქსიდომეტრული გატიტვრის დროს. მათ ეკუთვნის პერმანგანატომეტრია და იოდომეტრიის მეთოდები: ქრომატმეტრია, ბრომატმეტრია და სხვა.

დაჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ძირითადი თავისებურებანი შემდეგია: მრავალ რეაქციაში ურთიერთმოქმედებს არა მარტო მჟანგავები ან აღმდგენები, არამედ სხვა ნივთიერებებიც (მაგალითად მჟავები და ტუტეები).

რეაქციები ხშირად რამდენიმე სტადიად მიმდინარეობს, ამასთან თითოეული მათგანი სხვადასხვა სიჩქარით.

დაჟანგვა-აღდგენის რეაქციების სიჩქარე უფრო დაბალია ვიდრე იონგაცვლითი რეაქციებისა, მაშინ როცა იონური რეაქციები პრაქტიკულად მყისიერად ხორციელდება. დაჟანგვა-აღდგენის რეაქციები მოითხოვს მეტ-ნაკლებად ხანგრძლივ დროს და განსაზღვრულ პირობებს, რომლებიც უზრუნველყოფს პროცესის წარმართვას ბოლომდე; ერთი დაიგივე გამოსავალი ნივთიერებებისათვის შესაძლებელია რეაქციის სხვადასხვა მიმართულებით წარმართვა. გარდა ამისა, რეაქციის პროცესში ხშირია ისეთი ნივთიერებების წარმოქმნა, რომლებიც თავით რეაქციის მსვლელობას ცვლის.

ოქსიდომეტრიის მეთოდებში გამოიყენება სხვადასხვა ინდიკატორები. ხშირად ისინი ორგანული ნივთიერებებია, რომლებიც თვითონ არიან მჟანგავები ან აღმდგენები. ამგვარ ინდიკატორებს რედოქს-ინდიკატორები ეწოდება. ისინი ადვილად გადადის მჟანგავი ფორმიდან აღმდგენში და პირიქით. გარდა ამისა, ამ ფორმებს განსხვავებული შეფერვა აქვს. მაგალითად დიფენილამინის მჟანგავი ფორმა მოლურჯო-იისფერია, ხოლო აღმდგენი - უფერო.

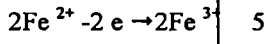
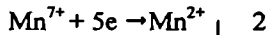
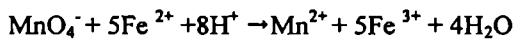
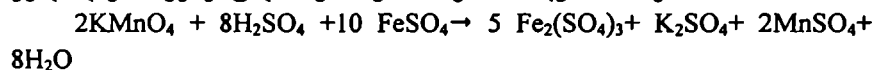
ზოგიერთი რეაქციისათვის არსებობს სპეციფიკური ინდიკა-

ტორები - ნივთიერებები, რომლებიც შეფერილობის შეფერვის შეცვლით რეაგირებენ გატიტრის ერთ-ერთ მონაწილესთან. მაგალითად სახამებელი იოდთან წარმოქმნის ლურჯი ფერის ადსორბირულ ნაერთს.

შესაძლებელია გატიტრა ინდიკატორის გარეშეც ჩატარდეს, თუ სამუშაო ხსნარის შეფერვა საკმარის კაშკაშა და რეაქციის შედეგად იგი მკვეთრად იცვლება. მაგალითად ხსნარი ჟოლოსფერია.

3.9.1 პერმანგანატმეტრია

მოცულობით ანალიზში პერმანგანატმეტრიის მეთოდი პირველად გამოყენებული იყო რკინის განსაზღვრისათვის.



$$\text{ამ განტოლების მიხედვით } \Theta_{\text{KMnO}_4} = \frac{158,03}{5} = 31,61 \text{ გ}$$

ამ მეთოდის დროს ინდიკატორის როლს თვითონ პერმანგანატი ასრულებს KMnO_4 -ში შემავალი MnO_4^- იონი იისფრად არის შეფერილი და უფერულდება რეაქციის დროს Mn^{2+} -იონის წარმოქმნის გამო.

კალიუმის პერმანგანატის 1 ლიტრი დეცინორმალური ხსნარი შემდეგნაირად შეიძლება დავაზადოთ. გამოთვლიან ექვივალენტს

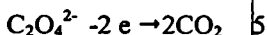
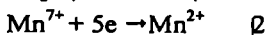
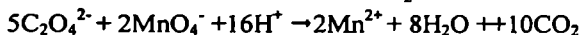
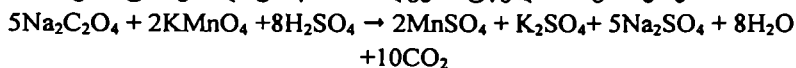
$$\Theta_{\text{KMnO}_4} = \frac{158,03}{5 \cdot 10} = 3,161 \approx 3,2 \text{ გ}$$

ამ რაოდენობის ნივთიერებას აწონიან და ათავსებენ ლიტრიან საზომ კოლბაში და ჭდემდე ავსებენ გამოხილი წყლით. შემდეგ ხსნარი გადააქვთ მუქქურჭელში და ბნელ ადგილას ინახავენ 7-10

დღის განმავლობაში.

კალიუმპერმანგანატის ხსნარის ნორმალობის კოეფიციენტის და ტიტრის დასადგენად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა ნივთიერება, მაგ. ნატრიუმოქსალატის ტიტრირება ხსნარი, მჟაუნმჟავა და სხვა.

ნატრიუმოქსალატი წარმოადგენს უწყლო ნივთიერებას.



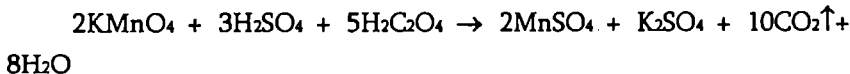
მაშასადამე $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ -ის ექვივალენტი ტოლია.

$$\Theta = \frac{134,02}{2} = 67,01 \text{ გ}$$

0,1N $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ -ის ხსნარის დასამზადებლად იღებენ 6,701 გ ნივთიერებას, ათავსებენ საზომ კოლბაში და ხსნიან მცირე რაოდენობის წყალში, შემდეგ ავსებენ ჭედმდე ქვედა მენისკის მიხედვით.

კოლბაში ათავსებენ 25 მლ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ -ის ხსნარს, უმატებენ 10 მლ H_2SO_4 (1:4) და დაახლოებით 2-ჯერ მეტ გამოხდილ წყალს. აცხელებენ 70-80° და გატიტრებენ პერმანგანატით გაუფერულებამდე. გაუფერულების ხანგრძლივობა 1 წუთი მაინც უნდა იყოს. გატიტვრა უნდა ჩატარდეს 3-ჯერ.

KMnO₄-ის ხსნარის ტიტრის დადგენა მჟაუნმჟავას ხსნარით:
 KMnO_4 ტიტრის დასადგენად გამოსავალ ნივთიერებად მჟაუნმჟავას $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ იყენებენ. გატიტვრის დროს მიმდინარეობს რეაქცია



ძლიე მჟავა გარემოში მიმდინარე დაჟანგვა-აღდგენის რეაქციისათვის ეკვივალენტური მასა

$$\Theta \text{KMnO}_4 = 158,03/5 = 31,61 \text{ გ/მოლ.}$$

0,1N ხსნარის მოსამზადებლად ტექნიკურ სასწორზე იღებენ

3,1 გ პრემანგანატს 1ლ ხსნარზე. მომზადებულ ხსნარს ათავსებენ მუქი ფერის ჭურჭელში და აყოვნებენ ბნელ ადგილას 7 დღის განმავლობაში. შემდეგ ხსნარს ფრთხილად გადმოასხამენ მუქი ფერის სუფთა ჭურჭელში და ადგენენ ხსნარის ტიტრს.

H₂C₂O₄ ხსნარის მომზადება. გამოსავალი ნივთიერებაა გადაკრისტალებული და CaCl₂-ით გამომშრალი მჟაუნმჟავა H₂C₂O₄·2H₂O 0,6304გ მჟაუნმჟავას წონიან ანალიზურ სასწორზე ბიუქსში ან საათის მინაზე და ფრთხილად გადააქვთ 100მლ-იან საზომ კოლბაში. წონაკის სრული გახსნის შემდეგ ხსნარს წყლით შეავსებენ ჭდემდე და ურევნ. ხსნარი ზუსტად 0,1N კონცენტრაციის იქნება.

KMnO₄-ის ხსნარის ტიტრის განსაზღვრა. 100მლ მომზადებული მჟაუნმჟავას ხსნარი გადააქვთ 250 მლ მოცულობის კოლბაში, უმატებენ დაახლოებით 50 მლ წყალს და საზომი ცილინდრით 15 მლ განზავებულ H₂SO₄-ს (1:8) მიღებულ ხსნარს აცხელებენ 80-90°C-მდე. ბიურეტში ათავსებენ KMnO₄-ის ხსნარს და მენისკს აყენებენ ნულზე, თუ ქვედა მენისკი ცუდად ჩანს, ანათვალს იღბენ ზედა მენისკის მიხედვით.

ცხელ ხსნარს ტიტრავენ KMnO₄-ის ხსნარით პირველი მდგრადი ღია ვარდისფერის წარმოქმნამდე. გატიტრის დროს საჭიროა ხსნარის უწყვეტი მორევა. KMnO₄ ხსნარის ახალი ულუფის დამატება უნდა ხდებოდეს წინა ულუფისაგან შეფერვის სრული გაქრობის შემდეგ. ღებულობენ 2-3 თანხედენილ შედეს და გამოთვლიან KMnO₄-ის ტიტრს.

ორვალენტიანი რკინის განსაზღვრა რკინის სულფატში

ანალიზურ სასწორზე წონიან 4 გ FeSO₄·7H₂O. ათავსებენ ქიმიურ ჭიქაში, ხსნიან მცირე რაოდენობის გამოხდილ წყალში. შემდეგ გადაიტანენ 100 მლ-იან საზომ კოლბაში და უმატებენ 10-15 მლ 6N H₂SO₄. შემდეგ კოლბას შეავსებენ ჭდემდე. ასეთი ხსნარი არის დაახლოებით 0,1N.

იღებენ ერლენმეიერის კოლბაში დამზადებული ხსნარის 25 მლ, უმატებენ 2-ჯერ მეტ გამოხდილ წყალს და 10-15 მლ H_2SO_4 (1:4). ხსნარს ტიტრავენ 0,1N $KMnO_4$ -ით. ღია ვარდისფერ შეფერვამდე. ცდას აკეთებენ 3-ჯერ. ვთქვათ 25 მლ ხსნარის გატიტრისას ($K=0,955$) დაიხარჯა 12,2 მლ $KMnO_4$ -ის ხსნარი. გამოვიანგარიშოთ Fe^{2+} შემცველობა 100 მლ ხსნარში. 25 მლ ხსნარზე დაიხარჯა $12,2 \cdot 0,955 = 11,651$ მლ $KMnO_4$ -ის 0,1N ხსნარი.

1 მლ $KMnO_4$ ჟანგავს 0,005585 გ Fe^{2+}

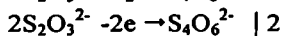
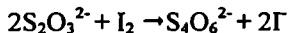
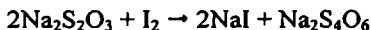
11,651 მლ _____ x

x = 0,0650708 გ.

100 მლ ხსნარი შეიცავს Fe^{2+} 0,0650708 · 4 = 0,26038 გ.

3.9.2. იოდმეტრია

იოდის გამოყოფაზე ან შთანთქმაზე დამყარებულ მეთოდებს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ჟანგვა-აღდგენის მეთოდებს შორის. ის დამყარებულია ორ რეაქციაზე: 1) თავისუფალი იოდის აღდგენა $I_2 + 2e \rightarrow 2I^-$ 2) თავისუფალი იოდის გამოყოფა $2I^- - 2e \rightarrow I_2$. ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარზე თუ ვიმოქმედებთ თავისუფალი იოდით, უკანასკნელი გაუფერულდება.



$Na_2S_2O_3$ ხსნარის I_2 ხსნარით გატიტრისას ხდება იოდის ხსნარისათვის დამახასიათებელი ფერის მყისვე გაქრობა. როცა ხსნარში მყოფი $Na_2S_2O_3$ -ის მთელი რაოდენობა დაიჟანგება, I_2 -ის ხსნარის მხოლოდ ერთი წვეთიც შეფერავს გასატიტრავ ხსნარს მკრთალ ყვითელ ფერად. გატიტრის დასასრულს იოდით შეფერვა საკმაოდ სუსტია და ამიტომ ექვივალენტური წერტილის დადგენა გამწვანებით

ბულია. ექვივალენტური წერტილის მონახვისათვის უფრო მოხერხებულია თავისუფალ იოდზე მგრძნობიარე რეაქტივის ინდიკატორის სახით გამოყენება. ჩვეულებრივად იყენებენ სახამებლის ხსნარს, რომელიც იოდთან ინტენსიური ლურჯი ფერის ადსორბციულ ნაერთს იძლევა.

თუ გატიტვრას აწარმოებენ სახამებლის ხსნარის თანაობით, რეაქცია უნდა ჩაითვალოს დამთავრებულად. როცა იოდის ერთი ზედმეტი წვეთის დამატებით წარმოშობილი ლურჯი შეფერილობა აღარ გაქრება. ექვივალენტური წერტილი დადგება მაშინ როცა თიოსულფატის უკანასკნელი წვეთი იოდს გააუფერულებს.

ასეთი წესით გატიტვრისას სახამებელს უმატებენ გატიტვრის სულ ბოლოს, როცა რაოდენობა მცირე რჩება და გასატიტრავ ხსნარს აქვს სუსტი შეფერვა (ჩალისფერ-ყვითელი). თუ სახამებელი დამატებული იქნა ადრე, ე.ი. როცა ხსნარში ჭარბადაა იოდი, მაშინ დიდი რაოდენობით წარმოშობილი იოდსახამებელის ხსნარი თიოსულფატონ ურთიერთქმედებაში დამუხრუჭდება, რაც ხსნარის გატიტვრას გამოიწვევს.

იოდომეტრიაში მთავარ სამუშაო ხსნარს წარმოადგენს იოდისა და ნატრიუმისთიოსულფატის ხსნარები. იოდს ხსნიან კალიუმის იოდიდის კონცენტრირებულ ხსნარში. 0,1N იოდის ხსნარის დასამზადებლად იღებენ კრისტალური იოდის 12,7 გ და უმატებენ 40 გ KI და 25 მლ გამოხდილ წყალს. შემდეგ მოათავსებენ ლიტრიან საზომ კოლბაში და ავსებენ ჭდემდე. მიღებულ ხსნარს ინახავენ მუქ ჭურჭელში.

0,1N ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარის დასამზადებლად 25 გ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ და 0,1 გ Na_2CO_3 ხსნიან 1 ლ წყალში. ტიტრის დადგენის წინ ხსნარს აყოვნებენ ერთი დღით და შემდეგ ხსნარს ინახავენ მუქ ჭურჭელში.

სახამებლის ხსნარის დასამზადებლად იღებენ 50 მლ გლიცერინს და 50 მლ გამოხდილი წყლის ნარევს, აცხელებენ და უმატებენ 1 გ სახამებელს გახსნილს 2-3 მლ წყალში და ადულებენ 2-3 წუთს.

იოდის ხსნარის ნორმალობას ადგენენ თიოსულფატის ხსნარის მიხედვით. იღებენ გარკვეული მოცულობის იოდის ხსნარს, უმატებენ იმავე მოცულობის გამოხდილ წყალს და ტიტრავენ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის ხსნარით ჩალისფერ-ყვითელ შეფერილობამდე. შემდეგ უმატებენ სახამებლის ხსნარს 2 მლ და აგრძელებენ გატიტვრას ხსნარის გაუფერულებამდე. ნორმალობას გამოთვლიან ფორმულით:

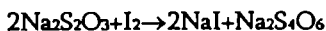
$$N_1 = \frac{N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}}{V_1}$$

ამ მეთოდით შეიძლება როგორც მჟანგავების ასევე აღმდგენების განსაზღვრა. მჟანგავებს შორის განისაზღვრება: პერმანგანატი, სპილენძის(II) მარილები, რკინის(II) მარილები და სხვა. მჟანგავი მჟავა გარემოში რეაგირებს ჭარბ კალიუმის იოდიდთან KI . ამ დროს გამოიყოფა მჟანგავის რაოდენობის ეკვივალენტური იოდის რაოდენობა. გამოყოფილ იოდს ტიტრავენ ზუსტად განსაზღვრული კონცენტრაციის ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარით/ ამგვარად, შეიძლება განსაზღვრავე მჟანგავის რაოდენობის გამოთვლა, რომელიც ეკვივალენტურია იოდის გატიტვრაზე დახარჯული თიოსულფატის რაოდენობისა. ამ მეთოდში სამუშაო ხსნარია $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის ხსნარი. მისის ტიტრის დსადგენად გამოსავალი ნივთიერებაა კალიუმის ბიქრომატი $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. მჟანგავის უმეტესობის გატიტვრა უშუალოდ თიოსულფატით არ შეიძლება, ვინაიდან ეკვივალენტობის წერტილის დაფიქსირება შეუძლებელია. ამიტომ იოდომეტრიის მეთოდი მჟანგავების განსაზღვრისას იყენებენ არაპირდაპირ მეთოდს- შემცვლელის გატიტვრას. პირველად რეაქციას ატარებენ მჟავა გარემოში მჟანგავსა და KI -ს შორის. შესამუაველად იყენებენ გოგირდმჟავას ან მარილმჟავას.

რეაქცია მიმდინარეობს შემდეგნაირად:



გამოყოფილ თავისუფალ იოდს ტიტრავენ ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარით:



იოდომეტრიის მეთოდში ინდიკატორად გამოიყენება სახამებლის ხსნარი, რომელიც იოდთან წარმოქმნის ლურჯი ფერის ნაერთს. მის გამოყენებას გარკვეული სპეციფიკრობა ახასიათებს. როდესაც იოდი ცოტადა რჩება და გასატიტრ ხსნარს ღია ყვითელი შეფერვა ექნება. თუ სახამებელს მიეზუმატებთ ჯერ კიდევ ჭარბი იოდის დროს, გატიტვრა გართულდება იმის გამო, რომ იოდის სახამებელთან წარმოქმნილი ნაერთი ძალიან ნელა რაეგირებს თიოსულფატთან. მეორე თავისებურება არის ის, რომ მოცემულ შემთხვევაში, გატიტვრას ატარებენ არა შეფერვის გაჩენამდე (როგორც ჩვეულებრივ ხდება), არამედ შეფერვის გაქრობამდე. ამიტომ გატიტვრის ბოლო წერტილთან ხსნარი წვეთ-წვეთად უნდა დაემატოს. ყოველი წვეთის დამატების შემდეგ ხსნარს გულმოდგინეთ ურევენ და შემდეგი წვეთის მომატებამდე 3-5 წამს იცდიან. ამ წესის უგულებელყოფით ხსნარი ადვილად გადაიტეტრება.

საზოგადოდ იოდომეტრული მეთოთით მჟანგავების განსაზღვრის დროს აუცილებელია შემდეგი პირობების დაცვა:

1. მჟანგავსა და KI შორის რეაქცია პრაქტიკულად ბოლომდე რომ წარიმართოს, იგი მჟავა გარემოში უნდა ტარდებოდეს.
2. გატიტვრას აწარმოებენ ცივ პირობებში, ვინაიდან გაცხელებით იოდი შეიძლება ნაწილობრივ აქროლდეს. გარდა ამისა, ტემპერატურის გადიდებისას სახამებლის, როგორც ინდიკატორის მგრძნობელობა მცირდება.
3. გატიტვრა არ შეიძლება ტარდებოდეს ძლიერ ტუტე გარემოში, ვინაიდან იოდი რეაგირებს ტუტესთან. ხსნარის pH არ უნდა აღმატებოდეს 9,0.
4. მჟანგავების განსაზღვრისას საჭიროა KI-ის მნიშვნელოვანი სიჭარბის გამოყენება. იოდის წყალში ხსნადობა მცირეა, ხოლო სიჭარბე ხელს უწყობს I^- - იონებსა და მჟანგავებს შორის რეაქციის დაჩქარებას.
5. რადგან კალიუმის იოდიდსა და მჟანგველს შორის რეაქციის

სიჩქარე არასაკმარისად დიდია, ამიტომ გამოყოფილი იოდის გატიტვრას იწყებენ მჟანგავის დამატებიდან მხოლოდ გარკვეულ დროის შემდეგ.

6. გატიტვრის დაწყებამდე სარეაქციო ნარევი უნდა ინახებოდეს ბნელ ადგილას, ვინაიდან სინათლეზე ჩქარდება ჰაერის ჟანგბადით I^- -ის I_2 -მდე დაჟანგვა.

აღმდგენებს შორის იოდომეტრული მეთოდით საზღვრავენ სულფიტებს, სულფიდებს და სხვა. სამუშაო ხსნარია I_2 -ის ხსნარი. სხვადასხვა აღმდგენების განსაზღვრისას პირდაპირ გატიტვრას იშვიათად იყენებენ, ვინაიდან იოდის ხსნარით გატიტვრის დროს შემცირებული შედეგები მიიღება. უმეტესწილად იყენებენ უკუგატიტვრას. განსაზღვრულ აღმდგენელს ემატებს იოდის გატიტვრული ხსნარის გარკვეული სიჭარბე და რეაქციაში შეუვლელ იოდის ნაშთს ტიტრავენ თიოსულფატით. იოდომეტრიაში ჩვეულებრივ, იყენებენ 0,1-დან 0,01N-მდე კონცენტრაციის მქონე სამუშაო ხსნარებს.

NazS₂O₃ ხსნარის მომზადება. $NazS_2O_3$ -ის ტიტრირებული ხსნარის მომზადება ზუსტი წონაკით არ შეიძლება. გარდა ამისა, $NazS_2O_3$ -ის ახლადდამზადებული ხსნარი თავდაპირველად ტიტრს იცვლის. დაახლოებით 1ლ 0,1N ხსნარის მოსამზადებლად ტექნიკურ სასწორზე წონიან 24,8,გ $NazS_2O_3 \cdot 5H_2O$. ამ წონაკს ხსნაიან ახლადადუღბულ და გაცივებულ დისტილირებულ წყალში. მდგრადობისათვის ხსნარს უმატებენ 0,2გ Na_2CO_3 -ს ხსნარის ყოველ ლიტრზე. ხსნარს 5-6 დღით აყოვნებენ ბნელ ადგილას კარგად თავდახურულ ჭურჭელში. ამის შემდეგ საზღვრავენ ხსნარის ტიტრს, რომელსაც დროდადრო ამოწმებენ.

K₂C₂O₇ ხსნარის მომზადება. ხსნარის მოსამზადებლად იღებენ გადაკრისტალეზულ და 150°C გამომშრალ რეაქტივს. 0,4304გ $K_2C_2O_7$ -ის წონაკს წონიან ანალიზურ სასწორზე, გადააქვთ 100მლ მოცულობის საზომ კოლბაში და ხსნიან მცირე რაოდენობის წყალში, შემდეგ კი მისი მოცულობა მიყავთ ჭდემდე წყლით

და ურევნ მიღებული ხსნარის კონცენტრაცია ზუსტად 0,1N.

ინდიკატორის მომზადება. წონიან 0,5გ სახამებელს და გულ-მოდგინედ სრესენ მას წყლის რაოდენობით. მიღებულ ნარევს ასხამენ 100 მლ მდუღარე წყალს და კიდევ 2-3 წუთს ადიღებენ. გაცივების შემდეგ გამჭირვალე ხსნარს გადაიტანენ მილესილ საცობიან ჭურჭელში. სახამებლის ხსნარი საწრაფად ფუჭდება. თუ სახამებელმა იოდთან ლურჯის ნაცვლად წარმოქმნა იისფერი ან მურა ხსნარი, სახამებელი გაფუჭებულია.

Na₂S₂O₃ კონცენტრაციის განსაზღვრა კალიუმის ბიქრომატის მიმართ. ბიურეტს 2-3-ჯერ გამოავლებენ თიოსულფატის სტანდარტულ ხსნარს და ჭდემდე ავსებენ.

250 მლ-იან კონუსურ კოლბაში მენზურით ასხამენ KI-ის 20%-იანი ხსნარის 5 მლ-ს და 2N H₂SO₄ ხსნარის 8-10 მლ-ს, მიღებულ ნარევს პიპეტით უმატებენ ბიქრომატის ხსნარის 10მლ-ს კოლბას აცობენ მინის საცობს და 5 წუთით ტოვებენ სიბნელეში რეაქციის დასამთავრებლად. შემდეგ ხსნიან მინას, ავლებენ კოლბის თავს ზემოთ დასტილირებულ წყალს და კოლბაში უმატებენ, შემდე კიდევ უმატებენ 100მლ წყალს. გამოიყოფა იოდის ეკვივალენტური რაოდენობა (მურა შეფერვა), რომელსაც ტიტრავენ თიოსულფატით ჯერ ინდიკატორის გარეშე ღია ყვითლი ფერის გამოჩენამდე. შემდეგ კი უმატებენ 2 მლ სახამებლის ხსნარს. გატიტვრას აგრძელებენ თიოსულფატის ხსნარის 1 წვეთის დამატებით ლურჯი ფერის ღია მწვანე ფერში გადასვლამდე. ბოლო წვეთებს კი ნელ-ნელა უმატებენ ყოველი გულმოდგინე მორევის შემდეგ. გატიტვრას იმეორებენ სამჯერ. განსაზღვრავენ საშუალო მნიშვნელობას.

$$N_{Na_2S_2O_3} = \frac{N_{K_2Cr_2O_7} \cdot V_{K_2Cr_2O_7}}{V_{Na_2S_2O_3}}$$

სადაც $N_{Na_2S_2O_3}$ და $N_{K_2Cr_2O_7}$ შესაბამისად ხსნარების ნორმალობაა.

$V_{K_2Cr_2O_7}$ - ბიქრომატის ხსნარის მოცულობაა.

$V_{Na_2S_2O_3}$ - გატიტვრაზე დახარჯული თიოსულფატის მო-

ცულობაა.

ხსნარში თავისუფალი იოდის განსაზღვრა: იოდის საკვლევე ხსნარს ათავსებენ 100 მლ მოცულობის საკვლევე კოლბაში და წყლით მიყავთ ჭედმდე. ამ ხსნარის 10 მლ პიპეტით გადააქვთ კონუსურ კოლბაში, უმატებენ 60-70 მლ გამობდილ წყალს და ტიტრავენ თიოსულფატის ხსნარით, როდესაც ხსნარი ყვითელი ფერის გახდება, მასში ამატებენ 2 მლ სახამებლის ხსნარს და ნელა აგრძელებენ გატიტვრას ლურჯ შეფერვის გაქრობამდე. გატიტვრის შედეგების საფუძველზე ქვემოთ მოყვანილი ფორმულით გამოითვლიან იოდის ხსნარის ნორმალობას და ტიტრს:

$$N_{I_2} = \frac{N_{Na_2S_2O_3} \cdot V_{Na_2S_2O_3}}{V_{I_2}} \quad N_{I_2} = \frac{N_{Na_2S_2O_3} \cdot V_{Na_2S_2O_3}}{V_{I_2}}$$

სადაც N- ხსნარების ნორმალობაა;

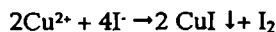
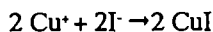
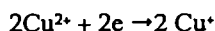
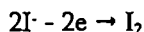
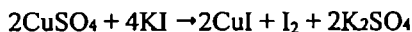
V- მოცულობა;

T - ტიტრი;

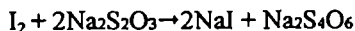
Ξ - გრამეკვივალენტური მასა.

სპილენძის იოდომეტრული განსაზღვრა $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ -ში

ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს შემდეგი რეაქცია:



გამოყოფილ იოდს ტიტრავენ ნატრიუმის თიოსულფატით.



გამოყოფილი იოდის გატიტვრაზე ნატრიუმთიოსულფატის საშუალო ხსნარის დახარჯული მოცულობის საშუალებით ანგარიშობენ გამოსაკვლევე წონაკში სპილენძის შემცველობას.

ანალიზურ სასწორზე აწონიან შაბიამნის განსაზღვრულ რაოდენობას, ისე რომ მიიღონ 0,1N ხსნარი. შემდეგ მას შეამჯავებენ 2 N

CH₃COOH-ის 15 მლ-ით და მოათავსებენ 250 მლ-იან კოლბაში. კოლბას შეავსებენ გამოხდილ წყლით ნიშან-ხაზამდე. ერლენმეიერის კოლბაში ასხამენ შაბიამნის ხსნარის 25 მლ და უმატებენ 15 მლ 20%-იანი – KI ის ხსნარს. დგამენ ბნელ ადგილას, რომ რეაქცია დამთავრდეს. შემდეგ ხსნარს ტიტრავენ თიოსულფატით ჩალისფერ-ყვითელ შეფერვამდე. შემდეგ უმატებენ 3 მლ სახამებელს და ისევ ტიტრავენ თეთრ-ყვითელ შეფერილობის მიღებამდე. სპილენძს გამოთვლიან ფორმულით

$$\%Cu = \frac{N_{Na_2S_2O_3} \cdot V_{Na_2S_2O_3} \cdot \Xi_{Cu}}{g \cdot 10}$$

თუ საანალიზო შაბიამნის 6,24 გრამი იყო გახსნილი 250 მლ წყალში, მაშინ 25 მლ ხსნარში იქნება 0,624 გ და დაიხარჯა 24,3 მლ თიოსულფატის 0,1N ხსნარი, მაშინ სპილენძის %-ული რაოდენობა ტოლია:

$$\%Cu = \frac{0,1 \cdot 24,3 \cdot 63,54}{0,624 \cdot 10} = 24,74$$

საკონტროლო კითხვები

1. რომელი რეაქცია უდევს საფუძვლად პერმანგანატმეტრულ მეთოდს?
2. როგორ მზადდება საბუშაო ხსნარი პერმანგანომეტრიაში?
3. როგორ განისაზღვრება ეკვივალენტობის წერტილი ერმანგანომეტრიაში?
4. რომელი მჟავა გამოიყენება გასატიტრი ხსნარების შესამყავებლად პერმანგანომეტრულ მეთოდსი და რატომ?
5. განმარტეთ იოდმეტრული მეთოდის არსი.
6. როგორ მზადდება ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარი?
7. გატიტვრის რომელ მეთოდს იყენებენ მჟანგავების იოდმეტრულად განსაზღვრის დროს?

თავი IV. ანალიზის ინსტრუმენტული მეთოდები ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები

ინსტრუმენტული ეწოდება ანალიზის ფიზიკურ და ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს. ინსტრუმენტული მეთოდების არსი საკვლევი სისტემების შედგენილობისა და თვისებებს შორის თანაფარდობების დადგენაში მდგომარეობს.

ანალიზის ინსტრუმენტული მეთოდები გამოირჩევა სისწრაფით, შერჩევითობითა და მაღალი მგრძნობიარობით.

ანალიზის ფიზიკურ მეთოდებს ისეთი ღირსებები გააჩნია, როგორც არის მაღალი მგრძნობიარობა, შედეგების ობიექტურობა, განმეორებლობა, მრავალელემენტური ანალიზის ჩატარების შესაძლებლობა, ავტომატიზაციის მონაწილეობა, ხშირ შემთხვევაში აღმოჩენის დაბალი ზღვრის მიღწევა.

ფიზიკური მეთოდები პირობითად იყოფა სამ ჯგუფად: სპექტროსკოპული, ბირთვულ-ფიზიკური და ყველა სხვა დანარჩენი.

სპექტრული მეთოდებიდან უკვე დიდი ხანია გამოიყენება: ემისიური სპექტრული ანალიზი, რენტგენოსპექტრული მეთოდი, რენტგენოფლურენსცენტრული მეთოდი, ატომურ-აბსორბციული მეთოდი, ალური ფოტომეტრია.

ფიზიკო-ქიმიური ანალიზის მეთოდებს ფართოდ გამოიყენებენ საკვლევ-სამეცნიერო და საწარმოო ლაბორატორიებში, ასევე გარემოს დაცვის სამსახურებში. ქიმიური ანალიზისაგან ისინი განსხვავდებიან უფრო მაღალი მგრძნობიარობით, რთული ნარეგების კვლევის დროს არ არის საჭირო შრომატევადი სამუშაოს შესრულება ცალკეული კომპონენტების მოსაცილებლად. ფიზიკო-ქიმიური მეთოდები საჭიროებენ მნიშვნელოვნად მცირე დროს ქიმიურთან შედარებით, რომელსაც ხშირად დიდი მნიშვნელობა აქვს.

ფიზიკო-ქიმიური ანალიზის მეთოდებს ყოფენ: ელექტროქიმიურ, ოპტიკურ, ქრომატოგრაფიულ. რადიომეტრულ, მას სპექტრომეტრულ და სხვა მეთოდებად.

საკვლევ-სამეცნიერო და საწარმოო ლაბორატორიებში ქიმიურ ანალიზში დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს ფოტომეტრულ მეთოდებს.

4.1. ფიზიკური მეთოდები

ანალიზის ფიზიკურ მეთოდებს შემდეგი ღირსებები გააჩნია: მაღალი მწარმოებლურობა, შედეგების ობიექტურობა, განმეორებლობა, მრავალელემენტური ანალიზის ჩატარების შესაძლებლობა, ავტომატიზაციის მონაწილეობა, ხშირ შემთხვევაში, აღმოჩენის დაბალი ზღვრის მიღწევა.

ფიზიკური მეთოდები ძირითადად იყოფა სამ ჯგუფად: სპექტროსკოპული, ბირთვულ-ფიზიკური და ყველა სხვა დანარჩენი.

სპექტრული მეთოდებიდან უკვე დიდი ხანია გამოიყენება ემისიური სპექტრული ანალიზი. ცნობილია, რომ რკალი ან ნაპერწკლური განმუხტვით აღგზნებული ატომები ან იონები სინათლის ენერგიას ასხივებს ყოველი ელემენტი ხასიათდება სპექტრული ხაზების გარკვეული ერთობლიობით. ეს თვისება საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ ამა თუ იმ ელემენტის იდენტიფიკაცია, ხოლო გამოსხივების ინტენსიურობის მიხედვით განვსაზღვროთ მისი კონცენტრაცია საანალიზო ნიმუშში. ამრიგად, სპექტრული ანალიზის ჩატარების შედეგად შესაძლებელი ხდება ელემენტის როგორც თვისებითი, ასევე რაოდენობითი განსაზღვრა.

რენტგენსპექტრულ მეთოდში ნივთიერებას ასხივებენ ელექტრონების ნაკადით და წარმოქმნილ რენტგენულ გამოსხივებას სპეციალური მოწყობილობით ზომავენ. გამოსხივების ენერგია ელემენტის ბუნებაზეა დამოკიდებული, ხოლო ინტენსიურობა – მის რაოდენობაზე.

შეიძლება ნივთიერების დასხივება არა ელექტრონებით, არამედ რენტგენული სხივებით და საზღვრავენ მეორადი რენტგენული გა-

მოსხივების ენერგიასა და ინტენსიურობასა (რენტგენფლუორესცენტული მეთოდი).

რენტგენფლუორესცენტული მეთოდის დადებითი მხარეებია ; სინჯის პრაქტიკულად სრული დაცულობა (არამდრვევი მეთოდი), განსასაზღვრავი კონცენტრაციების ფართო ინტერვალი (10^{-4} –დან 100%-მდე) 80-მდე ელემენტის განსაზღვრის შესაძლებლობა. მრავალი პრაქტიკული მოთხოვნისათვის ანალიზის საკმარისი სიზუსტე, სიგნალის მყისიერად მიღება, ანალიზის ექსპრესულობა. მაგალითად, მრავალარხიან რენტგენულ კვანტომეტრზე რამდენიმე წუთში ატარებენ ქანებსა და მინერალებში ღირითად ქანთწარმომქმნელი ელემენტების ანალიზს, ამასთან განსაზღვრის სიზუსტე უახლოვდება კლასიკური ქიმიური ანალიზის სიზუსტეს.

ატომურ-აბსორბციული მეთოდით ზომავენ ელემენტების თავისუფალი ატომების მიერ სინათლის შთანთქმას. ატომიზატორში, მაგალითად, ალში, ქიმიური ნაერთების მოლეკულები ცალკეულ ატომებად იშლება, რომლებიც შერჩევით შთანთქმავს სინათლის გარკვეული სიგრძის ტალღას, შთანთქმის ხარისხი დამოკიდებულია ატომების კონცენტრაციაზე.

ალური ფოტომეტრია დამყარებულია საანალიზო ნივთიერების ელემენტების ემისიური სპექტრების შესწავლაზე, რომლებიც წარმოიქმნება აგზნების რბილი წყაროების გავლენის შედეგად.

4.1.1. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ძირითადი დახასიათება

ანალიზის სპექტრალური და სხვა ოპტიკური მეთოდები დაფუძნებულია სხვადასხვა მოვლენების და ეფექტების გამოყენებაზე, რომელიც წარმოიქმნება ნივთიერების ურთიერთქმედების და ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისას.

ცნობილია ერთი მხრივ ისეთი მოვლენები, როგორიც არის დიფრაქცია, გარდატეხა და სხვა ოპტიკური ეფექტები, რომლებიც

შეიძლება აიხსნას მხოლოდ ტალღური თეორიის პოზიციით, მეორეს მხრივ შთანთქმა და გამოსხივების ემისია იმაზე მოწმობს, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივება თავისთავად წარმოადგენს მატერიალური ნაწილაკების ნაკადს, რომლებიც წოდებულია ფოტონებად ან კვანტებად.

თვლიან რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავრცელება სივრცეში დაკავშირებულია ელექტრული და მაგნიტური კომპონენტების პერიოდულ ცვლილებასთან, რომლებმაც შეუძლიათ იმოქმედონ ნივთიერებებზე.

რადგანაც სინათლეს აქვს ორმაგი ბუნება – ტალღური და კორპუსკულარული, მის აღსაწერად იყენებენ დახასიათების ორ სახეობას – ტალღურს და კვანტურს. ტალღურ დახასიათებას მიეკუთვნება რხევის სიხშირე, ტალღის სიგრძე და ტალღური რიცხვი, კვანტურს – კვანტების ენერგია.

რხევის სიხშირე ν გვიჩვენებს რხევის რიცხვს 1 სმ. იზომება ჰერცებში (1 ჰერც). მაღალი სიხშირე იზომება კილოჰერცებში (1კჰერც=10³ ჰერც). მეგაჰერცებში (1მჰერც=10⁶ ჰერც) და ა.შ. მაგალითად წითელი ფერი ხასიათდება 4·10¹⁴ ჰერცით, მწვანე 6·10¹⁴ ჰერც.

ტალღის სიგრძე λ გვიჩვენებს უმცირეს მანძილს წერტილებს შორის, რომლებიც ირხევინან ერთიან ფაზაში. ეს არის ხაზობრივი ერთეული იზომება სი (SI) მეტრებში (მ) და მას ყოფენ სანტიმეტრებში (სმ), მილიმეტრებში (მმ), ნანომეტრებში (1ნმ= 10⁻⁹ მ) და ა. შ. მაგალითად, მწვანე შუქი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ რხევებს ტალღის სიგრძით $\lambda=500-550$ ნმ ან 5·10⁻⁵-5,5·10⁻⁵ სმ.

ტალღის სიგრძე და რხევის სიჩქარე დაკავშირებულია ერთმანეთთან დამოკიდებულებით:

$$\nu = C/\lambda, \text{ სადაც } C - \text{სინათლის სიჩქარეა.}$$

თუ სინათლის სიჩქარე გამოხატულია სმ/წმ, ხოლო ტალღის სიგრძე სმ-ში, მაშინ $\nu = 3 \cdot 10^{10} / \lambda$, სადაც ν გამოსახულია ჰერცებში.

მაგალითად მწვანე სინათლისათვის $\lambda=500$ ნმ=5·10⁻⁵ სმ, სიხშირე

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^{10}}{5 \cdot 10^{-5}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ ჰერც}$$

ტალღის სიგრძის შებრუნებულ სიდიდეს ტალღის რიცხვს ν' უწოდებენ და ჩვეულებრივად გამოსახავენ სმ-ის შებრუნებული სიდიდით (სმ⁻¹).

მაგალითად მწვანე სინათლისათვის

$$\nu' = \frac{1}{5 \cdot 10^{-5}} = 2 \cdot 10^4 \text{ სმ}^{-1}$$

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგია განისაზღვრება თანაფარდობით

$$E = h\nu$$

სადაც h – პლანკის მუდმივაა, რომელიც ტოლია $6,62 \cdot 10^{-34}$ ჯოული.-წამში. რომ მივიღოთ ენერგია 1 მოლი, აუცილებელია ეს მნიშვნელობა გამრავლდეს ავოგადროს რიცხვზე: $E = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$
 $\nu = 3,99 \cdot 10^{10} \nu$, სადაც E გამოსახულია ჯოული/მოლი.

4.1.2. ემისიური სპექტრული ანალიზი

მეთოდი დამყარებულია ნივთიერების გამოსხივების სპექტრების შესწავლაზე. საანალიზო ნივთიერების სინჯს წვავენ გაზის სანთურის ($\approx 2000^\circ - 3000^\circ \text{C}$), ელექტრული რკალის ($\approx 5000 - 7000^\circ \text{C}$) ან მაღალვოლტიანი ნაპერწკლის ($\approx 7000 - 15000^\circ \text{C}$) ალში. ამ დროს საანალიზო ნივთიერება ორთქლდება და დისოცირდება შემადგენელ ატომებად ან იონებად, რომლებიც აღგზნებისას ემისიურ სპექტრს იძლევა. გავარვარებული აირებით გამოსხივებული სინათლე, გაივლის რა სპექტროსკოპის პრიზმაში, გარდატეხას განიცდის და იშლება კომპონენტებად, რომელთა ერთობლიობა შეადგენს ე.წ. ხაზოვან სპექტრს.

ყოველი ელემენტის ხაზოვანი სპექტრი ხასიათდება მუდმივი სპექტრული ხაზებით, რომლებიც შეესაბამება გარკვეული ტალღის სიგრძისა და რხევის სიხშირის მქონე სხივებს. ამ ხაზების არსებობა

მეტყველებს საანალიზო ნივთიერებაში ამა თუ იმ ელემენტის შემცველობაზე. ელემენტის რაოდენობითი განსაზღვრა დაფუძნებულია საანალიზო ნივთიერების შედგენილობაში შემავალია თუ იმ ელემენტისათვის დამახასიათებელი სპექტრული ხაზების ინტენსიურობის გაზომვაზე.

არჩევენ ემისიური სპექტრული ანალიზის ორ სახეს – რაოდენობითსა და ნახევრად რაოდენობითს. შესაბამის ხელსაწყოებს ეწოდება სტილომეტრები და სტილოსკოპები.

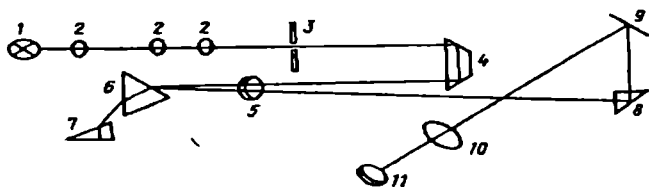
სპექტრალური ანალიზის ჩასატარებლად ხელსაწყოებს აქვთ შემდეგი ძირითადი კვანძები: საანალიზო ნივთიერების აღზნების წყარო, დისპერგირების ელემენტი და სინათლის მიმღები. ამის გარდა ძირითად კვანძს წარმოადგენს ნებისმიერ სპექტრალურ ხელსაწყოში ოპტიკური სისტემა, რომლის დანიშნულებაც სინათლის პარალელური კონის მიღება, მისი ფოკუსირება, სხივების სვლის შეცვლა და სხვა.

ნივთიერების აღზნების წყაროში ატომიზირდება და აღზნებული ატომები ან იონები უშვებენ სინათლეს, რომელიც დისპერგირების ელემენტით იყოფა სივრცეში ცალკეულ შემადგენელად, ხოლო სინათლის მიმღები მათ აფიქსირებს. სინათლის მიმღები ხასიათდება სპექტრალური მგრძნობიარობით, უნარი აქვს მიიღოს სხვადასხვა ტალღის სიგრძის მქონე გამოსხივება.

სპექტრალური ხელსაწყოების კონსტრუქციები მრავალფეროვანია. ისინი განსხვავდებიან, როგორც დისპერგირების ელემენტებით, სპექტრის რეგისტრაციის მეთოდით და ა.შ. ვიზუალური სპექტრული ანალიზის ჩასატარებელ ხელსაწყოებში – სხვადასხვა სტილოსკოპებში და სტილომეტრებში – სადისპერსიო ელემენტს წარმოადგენს მინის პრიზმი, სინათლის მიმღების ფუნქციას ასრულებს დამკვირვებლის თვალი. ნახაზზე მოცემულია გავრცელებული სტილოსკოპის ოპტიკური სქემა.

აღზნების წყაროდან (1) სინათლე ოპტიკური სისტემის (2) მეშვეობით ხვდება შესასვლელ ჭვრიტეში (3) რომლის მუდმივი სიგანა

0,02 მმ და მბრუნავი პრიზმა ობიექტის (5) მეშვეობით მიემართება მადესპირგირებელ სისტემაში, რომელიც შედგება ორი პრიზმისაგან (6 და 7). პრიზმი (7) კათეტი დაფარულია ვერცხლით გამოსახავს სხივებს, რომელიც ხელახლა გაივლის სადისპერსიო სისტემას და ობიექტივის (5) მეშვეობით და მბრუნავ (8) პრიზმიT ხვდება (9) სარკეზე და შემდეგ (11) ოკულარში, რომელიც გათვალისწინებულია სპექტრის სათვალთვალოთ. ფოტომეტრული სოლი (10) საშუალებას იძლევა შესუსტდეს შერჩეული სპექტრული ხაზების ინტენსიურობა და სპეციალურ შკალაზე პრიზმას (7) შეუძლია ბრუნვა, ამ დროს ხდება სპექტრის გადაადგილება მხედველობის არეში



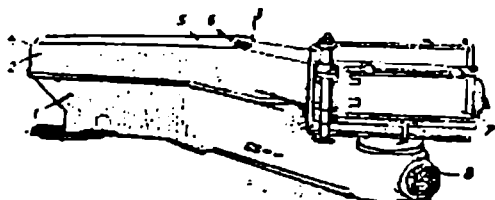
ნახ.26. სტილოსკოპის ოპტიკური სქემა

სტილოსკოპი განკუთვნილია 390-დან 700-მდე ნმ სპექტრულ არეში სამუშაოდ. მათ დიდი მნიშვნელობა ენიჭებათ ექსპრესული ანალიზის სამუშაოების ჩასატარებლად.

ლაბორატორიულ პირობებში სპექტრალური ანალიზის შესასრულებლად მნიშვნელოვანია კვარცის სპექტროგრაფები, რომელიც საშუალებას იძლევა სპექტრების ფოტოგრაფირების 200-600 ნმ ტალღის სიგრძის არეში. ისინი საშუალებას იძლევა უფრო ობიექტურად შევაფასოთ ელემენტის რაოდენობითი შემცელობა. ფირფიტაზე ხაზების გაშავების ხარისხი ელემენტის კონცენტრაციის პროპორციულია.

ფირფიტაზე ხაზების გაშავების ხარისხი რაოდენობრივად იზომება მიკროფოტომეტრის საშუალებით. განსასაზღვრავი ელემენტის კონცენტრაციას პოულობენ გრადუირებული მრუდით, რომელსაც წინასწარ ააგებენ, გამომდინარე ეტალონური ნიმუშების სპექტრულ

ლი ხაზების ინტენსიურობიდან. ემისიურმა სპექტრულმა დიდი გამოყენება ჰპოვა მეცნიერებასა და ტექნიკაში. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მეტალურგიაში, მედიცინაში, გეოლოგიაში. ძალიან ეფექტური აღმოჩნდა ბუნებრივი წყლების ანალიზის ჩასატარებლად. მეთოდი საშუალება იძლევა განისაზღვროს 80-ზე მეტი ელემენტი. მას ახასიათებს მაღალი მგრძნობიარობა, სიზუსტე, ექსპრესულობა. ანალიზის წინ არ არის აუცილებელი საანალიზო ნივთიერების დაცილება ცალკეულ კომპონენტებად. ანალიზისათვის საკმარისია ნივთიერების ძალიან მცირე რაოდენობა.



ნახ.27. სპექტოგრაფი

1. ფუძე 2. გარსაცმი 3. ჭვრიტე 4. სარკე 5. პრიზმა 6. კამერული ობიექტივი 7. კასეტა 8. სახელური.

თანამედროვე მეცნიერების დიდ მიღწევას წარმოადგენს «Perkin-Elmer»-ის მიერ წარმოებული ემისიური სპექტრომეტრები «Optima», რომლებიც საშუალებას იძლევიან სწრაფად და ზუსტად მივიღოთ 80 ელემენტის საიმედო ანალიზი.

ობიექტური ემისიური სპექტრომეტრი საშუალებას იძლევა ერთდროულად გაზომოს არამართო განსასაზღვრავი ელემენტის ხაზების სპექტრი, არამედ მისი მიმდებარე ფონიც. მათ აქვთ სისტემა ორმაგი დაკვირვების პლაზ-



ნახ.28. ემისიური სპექტრომეტრი «Optima»

მით (DV). ყველაფერ ამას უზრუნველყოფს შედეგების მაღალი მტკიცებულებები, აღმოჩენის საუკეთესო ზღვრები და კონცენტრაციის განსაზღვრის ფართო დიაპაზონი

4.1.3. ალური ფოტომეტრია

სპეციალური ემისიური ალური სპექტრომეტრების გამოჩენამ, განაპირობა ალური ფოტომეტრიის დამოუკიდებლად გამოყოფის საშუალება, თუმცა იგი დარჩა ემისიური სპექტრალური ანალიზის ერთ-ერთ მეთოდად.

ისე როგორც ნებისმიერი სპექტროსკოპიის ხელსაწყოებს, ალურ ფოტომეტრსაც აქვს აღზნების წყარო (ალიანი სანათური), სადის-პერსიო ელემენტი (ჩვეულებრივად შუქფილტრი) და სინათლის მიმღები –რეცეფტორი (ჩვეულებრივად ფოტოელემენტი).

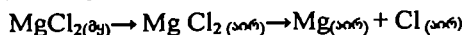
მეთოდის არსი შემდგომში მდგომარეობს : საანალიზო ნიმუში გადაყავთ ხსნარში, რომელიც შემდეგ საფრქვეველის საშუალებით აეროზოლად გარდაიქმნება და სანათურის ალს მიეწოდება. გამხსნელი ორთქლდება, ხოლო ელემენტები აღზნებისას იძლევა სპექტრს. საანალიზო სპექტრული ხაზი გამოიყოფა ხელსაწყოს –მონოქრომატორის ან შუქფილტრის საშუალებით, მისი ინტენსიურობა ფოტოელემენტით იზომება.

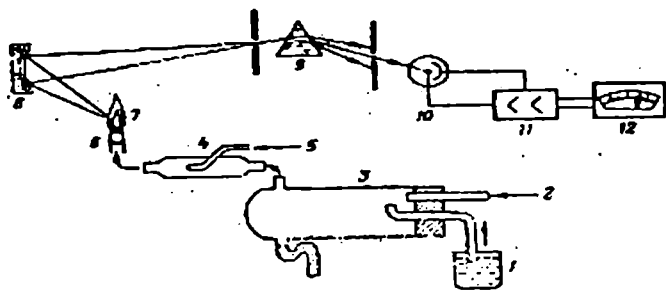
სინათლის ელექტრულ წყაროებთან შედარებით ბალონებიდან მიწოდებული აირ-საწვავი და აირ-მჟანგავი სტაბილურ, თანაბრად წვად ალს იძლევა. შედარებით დაბალი ტემპერატურის გამო აღიზნება დაბალი პოტენციალის მქონე ელემენტები : ტუტე ლითონები, ტუტემიწა–ლითონები და სხვა ელემენტები. ამ მეთოდით ისაზღვრება 70-ზე მეტი ელემენტი.

ალში შეტანილი ნიმუშის ხსნარი, დროის მცირე მონაკვეთში, შემდეგ გარდაქმნებს განიცდის.

1. გამხსნელი ორთქლდება ან იწვის, ხოლო ალში რჩება ნიმუშის უწყვრილესი მყარი ნაწილაკები.

2. მყარი ნივთიერებები გადადიან აირად მდგომარეობაში და ნაწილობრივ აირმაგვარ ატომებად იშლება. მაგალითად,

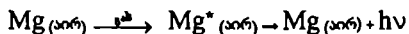




ნახ.29. ალური ფოტომეტრის პრინციპული სქემა

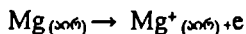
1. ნიმუში 2. მენავი აირის მიწოდება 3. საფრქვეველი 4.მებრვენი.საწვავი აირის მიწოდება 6.სანათურა 7. ალი 8. სარკე-კონდენსორი, 9. მიმოქრომატორი (ფილტრი), 10. ფოტოელემენტი 11. გამაძლიერებელი 12. ასათვლელი მოწყობილობა.

3. ალში მყოფი აირმაგვარი ატომების მცირე ნაწილი აღიგზნება. აღგზნებული ატომები სწრაფად უბრუნდება საწყის მდგომარეობას და ამ დროს გამოასხივებს ულტრაიისფერ ან ხილულ სინათლეს:



გამოსხივების ინტენსიურობა დამოკიდებულია აღგზნებული ატომების რიცხვზე. დეტექტორისმიერ გაზომილი სინათლის კონის ენერგია, ნიმუშში ელემენტის კონცენტრაციის პირდაპირპროპორციულია.

4. ზოგიერთი ატომი ალში განიცდის იონიზაციას:



იონიზაციას ადვილად განიცდის დაბალი პოტენციალის მქონე ლითონები. ალის ტემპერატურის გადიდებით ლითონების იონიზაციის ხარისხი იზრდება. ატომების იონიზაცია არასასურველი მოვლენაა, ვინაიდან იგი იწვევს გამოსხივების ინტენსიურობის დაწევას ტალღის სიგრძის გამოსაკვლევ გარემოში.

ალურ-ემისიური სპექტროფოტომეტრების ძირითადი ელემენტებია აირის წნევის რეგულატორი, საფრქვეველა და სანათური, ოპტიკური სისტემა და დეტექტორი. უმრავლეს შემთხვევაში ალს საწ-

ვაგი აირის ჰაერთან ან ჟანგბადთან ნარევის წვით ღებულობენ. საჭირო მახასიათებლების მქონე ალის მისაღებად აუცილებელია ნარევის შედგენილობისა და აირების მიწოდების სიჩქარის კონტროლირება. ამისათვის ხელსაწყოში დაყენებულია სარქველები, მანომეტრები და ა. შ.

საფრქვეველა გათვალისწინებულია ნიმუშის შესაწოვად და ალში მუდმივი, განმეორებადი სიდიდით შესაფრქვევად. მდგრადი, თანაბარი ალი, რომელსაც დაბალი ფონის მქონე გამოსხივება აქვს, სანათურში ზემოთ დასახელებული კომპონენტების წინასწარი შერევით წარმოიქმნება. საფრქვეველას გამოყენების დროს ნიმუშისა და ორი საწვავი აირის შერევა ალში მოხვედრამდე ხდება. თანამედროვე ხელსაწყოში მონოქრომატორად გამოიყენება დიფრაქციული გისოსი, რომელსაც აქვს ვიწრო შესასვლელი ჭვრითი, სპექტრული ხაზების უკეთესი ამოხსნადობისათვის და მგრძნობიარე დეტექტორები, რომელიც ხელს უწყობს ანალიზის დროს გარეშე ელემენტების ხელისშემშლელი გავლენის თავიდან აცილებას.

ანალიზის ჩასატარებლად აუცილებელია საანალიზო ნიმუშის მომზადება, ანალიზის პირობების შერჩევა და საკალიბრო მრუდების აგება. საკალიბრო მრუდის ასაგებად იყენებენ სტანდარტულ ხსნარებს. სტანდარტული ხსნარები უნდა შეიცავდეს განსასაზღვრავი ელემენტის ზუსტად ცნობილ რაოდენობას. გარკვეული ნაერთი, რომლის სახითაც შეჰყავთ სტანდარტულ ხსნარში შეძლებისდაგვარად, უნდა შეესაბამებოდეს ამ ელემენტის ფორმას საანალიზო ნიმუშში.

არჩეული სპექტრული ხაზი უნდა უზრუნველყოფდეს გაზომვისათვის საკმარის მგრძნობას.

საკალიბრო მრუდის აგება რაოდენობითი ანალიზის ჩატარების აუცილებელი პირობაა. ტალღის საჭირო სიგრძის დადგენის შემდეგ ალში შეამზაპუნებენ შესადარებელ ხსნარს და ფონური გამოსხივების მარეგულირებელი სახელურით ხელსაწყოს სკალაზე ნულის ტოლ გატარებას აყენებენ. შემდეგ ალში შეაქვთ ყველაზე კონცენ-

ტრირებული სამუშაო ხსნარი და გატარების სკალაზე 100-ის ტოლ მნიშვნელობას აყენებენ. ამის შემდეგ იღებენ ხელსაწყოს ჩვენებებს დანარჩენი სტანდარტული ხსნარებისათვის განსასაზღვრავი ელემენტის კონცენტრაციის შემცირების თანმიმდევრობით და აგებენ გამოსხივების ინტენსიურობის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების გრაფიკს. სტანდარტული ხსნარები უნდა შეიცავდეს საანალიზო ნიმუშის ყველაზე ძირითად კომპონენტებს.

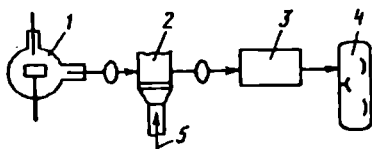
ემისიური ალური მეთოდის უდიდეს მიღწევად უნდა ჩაითვალოს იშვიათმიწათა ელემენტების რთული ნარეგების ანალიზის შესაძლებლობა. ამ მეთოდს ძალიან ხშირად იყენებენ ტუტე ლითონების (ლითიუმის, ნატრიუმის, კალიუმის და სხვა) განსასაზღვრავად. ალურ-ემისიური განსაზღვრის მეთოდებით ამ ელემენტების განსაზღვრა ქიმიური მეთოდებისაგან გამოირჩევა სისწრაფით და სელექციურობით. ამ მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია ტუტე-მიწათა და სხვა მეტალების განსაზღვრა ბიოლოგიურ და სამედიცინო ობიექტებში, ნიადაგში, წყალში, მინაში და სხვა ნიმუშებში.

4.1.4. ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრია

ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრია ანალიზური მეთოდია, რომელიც დაფუძნებულია აირადი ატომების მიერ ულტრაიისფერი ან ხილული სინათლის შთანთქმაზე. ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრია ითვლება მრავალი ლითონის და არალითონის განსაზღვრის უნივერსალურ მეთოდად, როგორც ელემენტების მცირე შემცველობის, ასევე მაღალი კონცენტრაციების შემთხვევაში.

ნიმუშის გადასაყვანად აირად ატომურ მდგომარეობაში, ნიმუშის ხსნარს აფრქვევენ ალში. გამოსხივების წყაროდ გამოიყენებენ ღრუიან კათოდურ ნათურას, რომელიც შეიცავს განსასაზღვრავ ლითონს. ალში არსებული ელემენტის ატომები შთანთქმავს მხოლოდ იმ გამოსხივებას, რომელსაც ასხივებს სინათლის წყარო. სპექტრული

ხაზების ტალღის სიგრძის ინტერვალი, რომელსაც გამოასხივებს სინათლის წყარო და შთანთქმული ხაზები ამავე ელემენტის ალში აქვს ტალღის სიგრძის ინტერვალი ძალიან ვიწრო, ამიტომ სხვა ხელისშემშლელი ელემენტის შთანთქმა პრაქტიკულად არ აისახება ანალიზის შედეგებზე.



ნახ.30. ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრის სქემა

1. გამოსხივების წყარო; 2. ალი; 3. მონოქრომატული; 4. სინათლის მიმღები; 5. საანალიზო ხსნარი;

ატომურ-აბსორბციული მეთოდი არსებითად განსხვავდება ალურ-ემისიური სპექტრომეტრიისაგან. ორივე შემთხვევაში, საანალიზო ხსნარს ალში შეაფრქვევენ, მაგრამ ალური ფოტომეტრია დაკავშირებულია ალში აღზნებული ატომების მიერ სინათლის გამოსხივებასთან, ხოლო ატომური აბსორბცია ეფუძნება ალში არსებული ნეიტრალური არააღზნებული ატომების მიერ სინათლის შთანთქმას.

ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრიის პრინციპული სქემის მიხედვით, სინათლეს განსასაზღვრავი ელემენტის მკვეთრი ხაზოვანი სპექტრის გამომსხივებელ წყაროსაგან ატარებენ ალში, რომელშიც შეაფრქვევენ საანალიზო ნივთიერების აეროზოლს. სპექტრის უბანს, რომელიც შეესაბამება გასაზომი რეზონანსული ხაზის განლაგებას, გამოყოფენ მონოქრომატორის საშუალებით. გამოყოფილი ხაზის გამოსხივებას მიმართავენ ფოტოელექტრულ დეტექტორზე, ჩვეულებრივ, ფოტომამრავზე, რომლის გამავალი სიგნალი გაძლიერების შემდეგ რეგისტრირდება გალვანომეტრით, თვითმწერით ან ტელეტიპით. რეზონანსული გამოსხივების ინტენსიურობა ორჯერ იზომება, ალში საანალიზო ნიმუშის შეფრქვევამდე და მისი შეფრქვევის მომენტში. ამ ორი ანათვალის სხვაობა არის აბსორბციისა

და შესაბამისად განსასაზღვრავი ელემენტის ზომა.

ალურ ემისიასთან შედარებით ატომური აბსორბციის მეთოდს შემდეგი უპირატესობა გააჩნია:

1. გარეშე ლითონების მარილების ხელისშემშლელი ზეგავლენა ამ მეთოდში მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე ალურ ემისიაში;

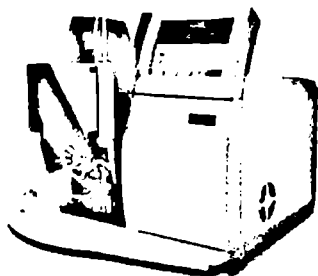
2. ატომურ-აბსორბციის მეთოდში ანალიზის შედეგები პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული ჩატარების პირობებზე. აუცილებელი არ არის შიგა სტანდარტების გამოყენება განსაზღვრის კორექტირებისათვის.

3. ატომურ-აბსორბციული მეთოდით ზოგიერთი ელემენტის განსაზღვრის განმეორებადობა და მგრძნობიარობა უფრო მაღალია, ვიდრე ალურ ფოტომეტრიის შემთხვევაში.

ატომურ-აბსორბციული მეთოდის ნაკლია ყოველი განსასაზღვრავი ელემენტისათვის სინათლის ცალკეული წყაროს არსებობის აუცილებლობა.

შემუშავებულია 68 ელემენტის განსაზღვრის ატომურ-აბსორბციული მეთოდი, რომელიც მოიცავს 15 მიწათა იშვიათ ელემენტს. ყველა ელემენტები, გარდა Si, As, B, Se და Te-ისა ხასიათდებიან ლითონური თვისებებით. ძირითადად ატომურ-აბსორბციულ მეთოდს გამოიყენებენ ელემენტის მცირე და კვალური რაოდენობის განსაზღვრისათვის.

საკალიბრო მრუდის აგება სპექტროფოტომეტრიაში მრუდის აგების მსგავსია. უმეტეს შემთხვევაში, სტანდარტული ხსნარების დასამზადებლად იყენებენ განსასაზღვრავი ლითონის მარილს. ლითონების უმრავლესობისათვის ყველაზე მიღებული და გავრცელებულია ჰაერ-აცეტილენის ალი (2300-2500°C). ასევე იყენებენ აზოტის (I) ოქსიდაცეტილენის ალსაც.



ნახ.31. ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრი AAnalyst 200

თანამედროვე ლაბორატორიების ნებისმიერ მოთხოვნილებებს აკმაყოფილებს ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრი «AAnalyst 200», რომლის მართვის შესაძლებლობას სენსორული ეკრანი იძლევა.

მოდელი AAnalyst 400/600/700/800– ავტომატური ხელსაწყოებია ალიანი და ან ელექტრომეტრული ატომიზატორით (ЭТА). სხვადასხვა მისადგმელები საშუალებას იძლევა გაიზარდოს მათი გამოყენების სპექტრი.

პრაქტიკული გამოყენება

ატომურ-აბსორბციული სპექტროსკოპია შეიძლება გამოყენებული იქნეს ან გამოიყენება ანალიზის პრაქტიკაში თითქმის ნებისმიერი ტექნიკური ან ბუნებრივ ობიექტებში, განსაკუთრებით იქ სადაც აუცილებელია განისაზღვროს ელემენტების მცირე რაოდენობის შემცველობა.

ატომურ-აბსორბციული განსაზღვრებების მეთოდიკა 70 ელემენტზე მეტისათვის არის შემუშავებული (Mg, Zn, Cu, Ca, Pb, Fe, AG, Ni, Cd, Bi და სხვა) ტექნიკურ ობიექტებზე ატომურ-აბსორბციული სპექტროსკოპიული მეთოდით ანალიზი უტარდება მეტალებს, შენადნობებს, ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების მადნებს, სხვადასხვა კონცენტრატებს და სხვა მაგალითად ოქროში საზღვრავენ ვერცხლს, ტყვიას, სპილენძს, თუთიას, როდესაც მათი შემცველობა 10^{-4} %, ასევე პოულობენ ტყვიას ცირკონიუმში. წარმატებით გამოიყენება ატომურ-აბსორბციული მეთოდი თუთიის, რკინის, მაგნიუმისა, სპილენძის და სხვა ელემენტების განსასაზღვრავად ნიადაგში, სასუქში, მცენარეებში და სხვა აგროქიმიურ მასალებში, როდესაც შემცველობა 10^{-4} ან 10^{-5} %-ია. ატომურ-აბსორბციული მეთოდი გამოიყენება კლინიკურ და სხვადასხვა ბიოლოგიურ (სისხლი, შრავი და სხვა) ანალიზი ტყვიის, ვერცხლისწყლის ბისმუტის და სხვა ელემენტების განსაზღვრავად. შემდგომში ატომურ-აბსორბციული სპექტროსკოპი-

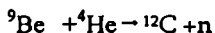
ის გამოყენების გაფართოვება მოსალოდნელია გრაფიტული კიუვეტების გამოყენებით მაღალტემპერატურულ ალში.

4.1.5. აქტივაციური ანალიზი

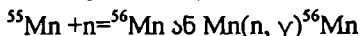
აქტივაციური ანალიზი დამყარებულია ბირთვული ნაწილაკებით დასხივებული განსასაზღვრავი ელემენტის სტაბილური იზოტოპებიდან რადიაქტიური იზოტოპების წარმოქმნაზე. მათი აქტიურობა განსასაზღვრავი ელემენტის ატომების რიცხვის პროპორციულია.

ნეიტრონების, პროტონების და სხვა მაღალი ენერგიის მქონე ნაწილაკებით დასხივების შედეგად მრავალი არარადიაქტიური ელემენტი იძენს რადიაქტიურობას. აქტივაციური ანალიზი დაფუძნებულია ამ რადიაქტიურობის გაზომვაზე. მიუხედავად იმისა, რომ გამოსხივების მიზანით შეიძლება გამოყენებული იქნეს ნებისმიერი ნაწილაკები, განსაკუთრებით ხშირად იყენებენ ნეიტრონულ აქტივაციას.

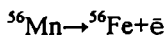
აქტივაციური ანალიზის ჩასატარებლად, ნეიტრონების ძირითად წყაროს წარმოადგენს ატომური რეაქტორი და ე. წ. პორტატიული წყაროები. უკანასკნელ შემთხვევაში α -ნაწილაკები, რომლებიც მიიღებიან α -აქტიური ელემენტების დაშლის შედეგად (Ra, Rn და ა.შ.) ურთიერთმოქმედებენ ბერილიუმის ატომბირთვთან ნეიტრონების გამოყოფით:



ნეიტრონები ერთვებიან ატომბირთვულ რეაქციაში საანალიზო სინჯის კომპონენტებთან, მაგალითად



რადიაქტიურ ${}^{56}\text{Mn}$ -ის ნახევრადდაშლის პერიოდი არის 2,6 საათი



როგორც ვხედავთ, ნიმუშის ნეიტრონებით დაყუმბარებისას ბირთვი (სამიზნე) წარიტაცებს ნეიტრონებს; წარმოიქმნება ახალი ბირთვი, რომლის მასა პირვანდელზე ერთით მეტია, ხოლო მუხტი კი უცვლელი, ე. ი. წარმოიქმნება გამოსავალი ელემენტის იზოტოპი. ხშირად ახალი ბირთვი არასტაბილურია და თვითონვე იშლება ნაწილაკების ანდა γ -კვანტის გამოსხივებით, ანუ ბირთვი რადიაქტიურია. ასეთი გზით მირებული აქტიური იზოტოპები ძლიერ განსხვავდება ნახევრადდაშლის პერიოდით მიღებული იზოტოპებისაგან. ამ და ზოგიერთი სხვა ინფორმაციის, γ -სპექტრების საფუძველზე შეიძლება ელემენტების იდენტიფიცირება.

ნეიტრონულ-აქტივაციური ანალიზის ჩატარების დროს ნიმუშს ბირთვულ რეაქტორში ათავსებენ და ნეიტრონების ნაკადით ასხივებენ, რის შედეგადაც სინჯის ყოველიაღზნების უნარიანი ელემენტი რადიაქტიური ხდება.

ნიმუშის შედგენილობის შესახებ ინფორმაციის მისაღებად გარკვეული დროის განმავლობაში ზომავენ მის რადიაქტივობას და ანალიზს აკეთებენ მიღებული “დაშლის მრუდის” მეშვეობით. ასეთი ანალიზის ჩატარებას სჭირდება უტყუარი და სანდო მონაცემები სხვადასხვა იზოტოპების ნახევრადდაშლის პერიოდზე, იმისათვის, რომ ჩატარდეს ჯამური მრუდების გაშიფვრა.

ნეიტრონულ-აქტივაციური ანალიზის მგრძნობიარობა დამოკიდებულია ნაკადის სიმძლავრეზე, ელემენტის მიერ ნეიტრონის წატაცების უნარსა და წარმოქმნილი რადიაქტიური ელემენტის ნახევრადდაშლის პერიოდზე.

პრაქტიკაში ჩვეულებრივად იყენებენ ანალიზის შედარების მეთოდს, როდესაც ერთნაირ პირობებში დაასხივებენ საანალიზო ნიმუშს და ეტალონს, სადაც ცნობილია განსასაზღვრავი ელემენტის შემცველობა, რაც არსებითად ამარტივებს ანალიზს. მრავალ შემთხვევაში ნიმუში დასხივების შემდეგ გადაყავთ ხსნარში, აწარმოებენ ჩვენთვის საინტერესო კომპონენტის გამოყოფას ქიმიური ექსტრაქციით, ქრომატოგრაფიით, დალექვით ან სხვა მეთოდებით და

განსაზღვრავენ დაცილებული პროდუქტების აქტიურობას.

აქტივაციური ანალიზის სხვა ვარიანტს წარმოადგენს γ -სპექტროსკოპიის მეთოდი, რომლის საფუძველს წარმოადგენს ნიმუშის γ -გამოსხივების სპექტრის გაზომვა. γ -გამოსხივების ენერგია წარმოადგენს თვისებითს, ხოლო სიჩქარის ანათვალი იზოტოპის რაოდენობით მახასიათებელს. გაზომვას აწარმოებენ მრავალარხიანი γ -სპექტრომეტრებით, რომლებსაც აქვთ სცინტილაციური ან ნახევრადგამტარიანი აღმრიცხველი.

აქტივაციური ანალიზი წარმატებით გამოიყენება წყლის და გეოქიმიური ობიექტების ანალიზში, ბიოლოგიური და კოსმოქიმიური მასალების შედგენილობის განსაზღვრის საქმეში; მინერალების ასაკის დადგენაში, კარგად არის ცნობილი რადიომეტრული მეთოდი, რომლის გამოყენებით ხდება უძველესი საგნების ასაკის დადგენა.

საკონტროლო კითხვები

1. რაში მდგომარეობს ინსტრუმენტული მეთოდების არსი?
2. რაში მდგომარეობს ემისიური სპექტრული ანალიზის არსი?
3. რაში მდგომარეობს რენტგენსპექტრული მეთოდის არსი?
4. რაში მდგომარეობს რენტგენფლუორესცენტული მეთოდის არსი?
5. რაში მდგომარეობს ატომურ-აბსორბციული მეთოდის არსი?
6. რაში მდგომარეობს ალური ფოტომეტრიის არსი?
7. რას ეფუძნება ემისიურ სპექტრულ ანალიზში ელემენტის რაოდენობითი შემცველობის დადგენა?
8. როგორ ხდება ალურ ფოტომეტრიაში საკალიბრო მრუდის აგება?
9. რაში მდგომარეობს აქტივაციური ანალიზის არსი?

4.2. ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები ანალიზის ზოგადი დახასიათება.

ანალიზის ყველა მეთოდები დაფუძნებულია ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებების დამოკიდებულებაზე, ე. წ. ანალიზურ ნიშანზე, ან უბრალოდ ნიშანზე, ნივთიერების ბუნებაზე და მის შემცველობაზე საანალიზო ნიმუშში. ქიმიური ანალიზის კლასიკურ მეთოდებში გამოიყენებენ ნალექის მასას (გრავიტაციული მეთოდი), ან რეაქტივის მოცულობას (ტიტრომეტრული ანალიზი). მაგრამ ანალიზის ქიმიური მეთოდები არ იძლევა შესაძლებლობას დააკმაყოფილოს მრავალმხრივი პრაქტიკული მოთხოვნილებები;

ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდი საშუალებას იძლევა ანალიზი ჩატარდეს გარკვეული მანძილიდან, ამის ნათელ მაგალითს წარმოადგენს მთვარის გრუნტის ანალიზი, რომელიც რენტგენოფლუორესცენტრული მოწყობილობით ჩატარდა უშუალო მთვარე ზემავალზე, ატმოსფეროს შემადგენლობის განსაზღვრა, რომელიც პლანეტა ვენერას გარს არტყია და სხვა. მნიშვნელოვანი პრაქტიკული დანიშნულება აქვს დისტანციურ ანალიზს დედამიწაზე, როდესაც ანალიზს ატარებენ მაღალ რადიაქტიურობისას მომწამლავ ნივთიერებებთან, ასევე დიდ სიღრმეზე ზღვის წყლისას და სხვა ანალოგიური ანალიზური ამოცანების გადასაწყვეტად.

მთელი რიგი ინსტრუმენტები გამოიყენება ანალიზის ფიზიკო-ქიმიურ მეთოდებში. ისინი იძლევიან ავტომატიზაციის საშუალებას თვითონ ანალიზის პროცესისა ან მისი რომელიმე სტადიის. ავტომატური აირანალიზატორები აკონტროლებენ ჰაერის შედგენილობას შახტებში. მეტალურგიულ წარმოებაში ფართოდ გამოიყენება მაღალავტომატიზირებული ოპტიკური და რენდგენული კვანტომეტრები.

ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდების დახმარებით შეიძლება განხორციელდეს ანალიზი, საანალიზო ნიმუშის დაზიანების (არამღვრვევი) გარეშე, (არადესტრუქციული) რასაც აქვს

ძალიან დიდი მნიშვნელობა, როგორც ზოგიერთი დარგის განვითარებისათვის, ასევე კრიმინალისტიკაში, მედიცინაში და ა.შ. არადესტრუქციული ანალიზი შეიძლება განხორციელდეს რენდგენოფლოუორესცენტრული, რადიოაქტივაციური და ზოგიერთი სხვა მეთოდებით.

4.2.1. ნივთიერებათა დაცილებისა და კონცენტრირების მეთოდები. ქრომატოგრაფია.

ანალიზური ქიმიის ამოცანაა საანალიზო სინჯში სხვადასხვა ელემენტის აღმოჩენა და მათი შემცველობის რაოდენობრივად განსაზღვრა. ამ მიზნის მისაღწევად ზოგჯერ საჭირო ხდება საანალიზო სინჯის ერთი ან რამდენიმე ელემენტის წინასწარი დაცილება სინჯში არსებული სხვა ელემენტებისაგან. ასევე ხშირად აუცილებელია აბსოლუტური კონცენტრირება, ე. ი. ნივთიერების კონცენტრაციის გადიდება, ანდა ფარდობითი კონცენტრირება, რაც გულისხმობს განსასაზღვრავი და ხელისშემშლელი კომპონენტების თანაფარდობის შეცვლას. სხვა სიტყვებით, აბსოლუტური კონცენტრირება არის მიკროკომპონენტების ხსნარის დიდი მოცულობიდან მცირეში გადაყვანა, ხოლო ფარდობითი კონცენტრირება—განსასაზღვრავი მიკროკომპონენტების ხელისშემშლელი მაკროკომპონენტებისაგან დაცილება. დასახული მიზნის განხორციელება შეიძლება ორი გზით :

1. შემდგომი განსაზღვრისათვის საჭირო მიკროელემენტების გამოყოფით;

2. ძირითადი კომპონენტების მოცილებით.

ანალიზურ ქიმიასში დაცილების მეთოდების მნიშვნელობა შეუფასებელია. სინჯის შედგენილობის რაოდენობის განსაზღვრის წინ, ძალიან ხშირად აუცილებელი ხდება ზოგიერთის ან ყველა მისი კომპონენტის გამოყოფა. ნივთიერება, რომლის სტრუქტურასა და ფიზიკურ თვისებებს სწავლობენ უნდა იყოს თავისუფალი ყოველ-

გვარი მინარევებისაგან. ამ მიზნებს ემსახურება ქრომატოგრაფია და ექსტრაქცია.

4.2.2. ექსტრაქციის მეთოდი

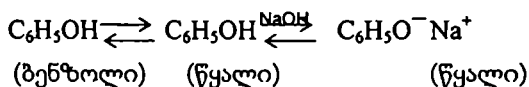
ექსტრაქცია წარმოადგენს ნივთიერების განაწილების პროცესს ორ შეურევად გამხსნელს შორის და ასეთ განაწილებაზე დამყარებულ ნივთიერებათა დაცილებისა და გაყოფის შესაბამის მეთოდს.

მთელი რიგი ორგანული სითხეების შერევა წყალთან არ ხდება. ასეთი სითხეების ხსნარების დამატების დროს წყალთან წარმოქმნება ორი შრე: წყალი – ორგანული ხსნარი. თუ ორგანული სითხის სიმკვრივე მეტია წყლის სიმკვრივეზე, ორგანული სითხის შრე მოთავსდება ქვევით, ხოლო წყლის ზევით, თუ ორგანული სითხის სიმკვრივე ნაკლებია წყლის სიმკვრივეზე, მაშინ პირიქით წყლის ფენა მოექცევა ქვევით. უმეტეს შემთხვევაში იყენებენ კომბინაციას წყალი – ორგანული გამხსნელი. თუ ორგანული გამხსნელის სწრაფვა ერთ-ერთი გახსნილი ნივთიერების მიმართ ძლიერ აღემატება წყლისას, მაშინ ეს ნივთიერება მთლიანად გადადის წყლის ფაზიდან ორგანულ გამხსნელში. ასეთ შემთხვევაში შრეების განცალკევებისათვის აუცილებელია ორგანული სითხის სიმკვრივის ფარდობა წყლის სიმკვრივესთან, ანუ ფარდობითი სიმკვრივე უნდა იყოს მნიშვნელოვნად მეტი ან ნაკლები ერთზე.

ორგანული ნივთიერებებისა და ლითონთა კოორდინაციული (კომპლექსური) ნაერთების ექსტრაქციისათვის მძიმე გამხსნელად ფართოდ გამოიყენება ქლოროფორმი CHCl_3 (ფარდობითი სიმკვრივე 1,49). ტიპიური მსუბუქი გამხსნელია ბენზოლი C_6H_6 (ფარდობითი სიმკვრივე 0,88) და დიეთილის ეთერი $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ (ფარდობითი სიმკვრივე 0,71). ექსტრაქციულ გამყოფ კარგ გამხსნელად ითვლება მეთილიზობუტილკეტონი $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ (ფარდობითი სიმკვრივე 0,80). მიუხედავად იმისა, რომ ტრიბუტილფოსფატი

(C₄H₉)₃PO₄ თავისი ფარდობითი სიმკვრივით ახლოს არის წყლის ფარდობით სიმკვრივესთან (ფარდობითი სიმკვრივე 0,98) ეს გამხსნელი სხვა გამხსნელებთან ხშირად და შედარებით წარმატებით გამოიყენება მრავალ მეტალთა კომპლექსური ნაერთების ექსტრაქციისათვის. ფაზათა უკეთესი გაყოფისათვის და სელექციურობის ასამაღლებლად ხანდახან წინასწარ ურევენ ბენზოლს ან ნავთს.

საერთოდ ნივთიერება იმ ფაზაში გადადის, სადაც იგი უფრო მდგრად ქიმიურ ნაერთებს წარმოქმნის. თვისებითი ემპირიული წესის შესაბამისად „მსგავსი იხსნება მსგავსში“. წყალსა და ისეთ გამხსნელს შორის, როგორიცაა ბენზოლი, წონასწორობის დროს მოლეკულური ორგანული ნაერთები ბენზოლში გადადის, ხოლო იონიზირებული ორგანული ნაერთები და არაორგანული მარილები, ძირითადად წყლის ფაზაში რჩება. ზოგჯერ ექსტრაქცია დამოკიდებულია წყალხსნარის pH-ზე. მაგალითად, ფენოლის ექსტრაქცია განპირობებულია ორ თანმიმდევრულ წონასწორობაზე:



ნეიტრალურ ან მჟავ ხსნარში ფენოლი უპირატესად იმყოფება მოლეკულურ ფორმაში და ექსტრაგირდება ბენზოლში, მაგრამ ძლიერ ტუტე წყალხსნარში ფენოლი არის ფენოლატ-იონის სახით, რომელიც ბენზოლში არ ექსტრაგირდება.

ექსტრაქციის პროცესის რაოდენობით მახასიათებლებს მიეკუთვნება:

1. კონცენტრაციის განაწილების კოეფიციენტი. დავუშვათ გვაქვს A ნივთიერების წყალხსნარი, რომელიც შენჯღრევით არ ერევა ორგანულ გამხსნელს. დამოკიდებულებას ნივთიერების კონცენტრაციისა ორგანულ და წყლის ფაზაში წონასწორულ პირობებში, უწოდებენ კონცენტრაციის განაწილების კოეფიციენტს და გამოისახება:

$$D_c = \frac{\text{კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში}}{\text{კონცენტრაცია წყლის ფაზაში}} = \frac{[A]_{\text{ორგ.}}}{[A]_{\text{წყ.}}}$$

განაწილების კოეფიციენტი (D) – ორგანულ ფაზაში გადასული ნივთიერების კონცენტრაციის ფარდობა, წყლის ფაზაში არსებულ საერთო კონცენტრაციასთან ჩვეულებრივ (მაგრამ არააუცილებლად) წონასწორობის პირობებში.

2. ექსტრაქციის ხარისხი (R) – მოცემულ პირობებში ორგანულ ფაზაში ნივთიერების რაოდენობის ფარდობაა ორივე ფაზაში მის საერთო რაოდენობასთან.

ექსტრაქციის ხარისხსა და განაწილების კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულება ამგვარად გამოისახება:

$$R = \frac{100D}{D+1}; \quad D = \frac{R}{100-R}$$

რაოდენობითი დაცილებისათვის საკმარისია ექსტრაქციის ხარისხი ტოლი იყოს 99,0 ან 99,9%. ე. ი. ნივთიერების მცირე ნაწილი რჩება წყალხსნარში ამ მაჩვენებლის მისაღწევად ახდენენ ორჯერად ან სამჯერად ექსტრაქციას ორგანულ გამხსნელში, რეაგენტის ახალი ულუფების დამატებით.

ექსტრაქციის პროცესის დასახელებული და სხვა მახასიათებლები დამოკიდებულია, როგორც ექსტრაქტში გადასული ნაერთის ხასიათზე, ასევე ორგანული გამხსნელის ტიპზე. ექსტრაქციისათვის, როგორც უკვე აღინიშნა, იყენებენ ორგანულ გამხსნელებს, რომელთა



ნახ.32. გამყოფი ძაბრი
ექსტრაქციისათვის

ურთიერთხსნადობა წყალთან მეტად შეზღუდულია. ექსტრაქციისათვის გამოიყენებენ მილესილი მინის ონკანიან გამყოფ ძაბრს.

ნაერთები, რომელთა სახითაც ელემენტებს შეუძლია ორგანულ ფაზაში გადასვლა, განსხვავდება არა მხოლოდ თავისი ქიმიური შედგენილობით, არამედ მათი წარმოქმნისა და ორგანული გამხსნელის შრეში გადასვლის მექანიზმითაც. ზოგი მათგანი წინასწარ არსებობს ან

უპირატესად წყალხსნარში წარმოიქმნება, ზოგი პირიქით, თვით ექსტრაქციის პროცესში წარმოიქმნება. ორგანულ ფაზაში არსებული რეაგენტის წყალხსნარში არსებული ლითონის კატიონებთან ურთიერთმოქმედების ხარჯზე ნაერთთა პირველ ტიპს მიეკუთვნება მარტივი ნივთიერებები კოვალენტური ბმით და მჟავები. მეორე ტიპს მიეკუთვნება ხელატური (შიგაკომპლექსური) ნაერთები და იონური ასოციატები.

ექსტრაქციის მეთოდი გამოირჩევა უნივერსალობით. იგი გამოსადეგია თითქმის ყველა ელემენტის გამოსაყოფად. ექსტრაქცია საშუალებას იძლევა რთული, მრავალკომპონენტიანი ნარევეები დაიყოს უფრო ეფექტურად და სწრაფად. სხვა მეთოდებთან შედარებით, პროცესი შეიძლება იყოს ავტომატიზირებული და მართვადი. ექსტრაქტი შეიძლება გამოვიყენოთ გამოყოფილი ელემენტის საბოლოო განსაზღვრისათვის არსებული მეთოდების გამოყენებით.

ამრიგად, ექსპერიმენტისათვის დამახასიათებელია უნივერსალობა, სიმარტივე და სისწრაფე. უნივერსალურობა იმაში მდგომარეობს, რომ ნებისმიერი ელემენტისათვის ყოველთვის შეიძლება შევარჩიოთ ისეთი პირობები და რეაგენტები, რომელთა საშუალებითაც ამ ელემენტს დავაცილებთ მეორეს. ამ დროს ხდება წყალხსნარის დიდი მოცულობიდან გამხსნელის ძალიან მცირე მოცულობაში ნივთიერების გადასვლა და შესაბამისად მისი კონცენტრაციის გაზრდა.

დაცილება მეტად მარტივად ხორციელდება. საკმარისია ხელთ გვექონდეს მილესილი მინის ონკანიანი გამყოფი ძაბრი. ორგანულ ფაზაში ნივთიერების გადასვლა როგორც წესი, ძალიან სწრაფად ხდება 3-5 წუთში. საკმარისია რამდენჯერმე გადავატრიალოთ ძაბრი შიგთავსით - წყალხსნარითა და ორგანული გამხსნელით და გაყოფა დამთავრებულია. ექსტრაქტი შეიძლება გამოვიყენოთ გამოყოფილი ელემენტის საბოლოო განსაზღვრისათვის შემდეგი მეთოდების გამოყენებით:

1. რექსტრაქცია - განსასაზღვრავი ელემენტის გადაყვანა წყალ-

ხსნარში, რისთვისაც ექსტრაქტი მუშავდება მჟავებით, ტუტეებით ან სხვა რეაგენტების ხსნარებით: შემდეგ რომელიმე მეთოდით ატარებენ განსაზღვრას წყალხსნარში.

2. ექსტრაქციულ-ფოტომეტრიული მეთოდი. ორგანულ ფაზაში გადაყვანილი ნაერთი არცთუ იშვითად შეფერილია. ამ შემთხვევაში შეიძლება ექსტრაქტის ოპტიკური სიმკვრივის უშუალო გაზომვა. სხვა შემთხვევაში კი - ორგანულ ფაზაში შეჰყავთ ფოტომეტრული რეაგენტი, სადაც იგი რეაგირებს განსაზღვრავ ელემენტთან შეფერილი ნაერთის წარმოქმნით.
3. ექსტრაქციულ-ატომურ-აბსორბიული მეთოდი. ექსტრაქტი შეჰყავთ ალში, სადაც მიმდინარეობს ატომიზაციის პროცესი. ე.ი. გამოყოფილი ნაერთის ატომებად დაშლა. ორგანული გამხსნელის დაწვის შემდეგ ზომავენ ალში არსებული ელემენტების ატომების მიერ გარკვეული ტალღის სიგრძის სინათლის შთანთქმას, რომელიც პროპორციულია ელემენტის ატომების შემცველობისა, მაშასადამე, მათი შემცველობისა საწყის ექსტრაქტშიც.
4. ექსტრაქციულ-ნეიტრონ-აქტივაციური მეთოდი. ექსტრაქტში მყოფ ელემენტებს ასხივებენ ნეიტრონების ნაკადით და შემდეგ ზომავენ წარმოქმნილი რადიოაქტიური იზოტოპების გამოსხივების ინტენსიურობას.
5. ექსტრაქციულ-სპექტრული მეთოდი. ექსტრაქციული კონცენტრირების შემდეგ ექსტრაქტში მყოფ ელემენტებს სპექტრული მეთოდით საზღვრვენ.
6. ექსტრაქციულ-პოლიგრაფიული მეთოდი. ექსტრაქტში ჩაუშვებენ ვერცხლისწყლის ან სხვა ნივთიერებისაგან დამზადებულ მწვეთავ ელექტროდს და ატარებენ პოლაროგრაფიულ განსაზღვრას. ტალღის სიმაღლე პროპორციულია ექსტრაქტში არსებული მოცემული ელემენტის შემცველობისა.

4.2.3. ქრომატოგრაფია

ქრომატოგრაფია არის მსგავსი თვისებების მქონე ნივთიერებებისაგან შემდგარი რთული ნარევების შემადგენელ კომპონენტებად დაყოფის მეთოდი. დაცილება ხდება თხევადი ან აირისმაგვარი ფაზის გამჭოლი მოძრაობისას უძრავი სორბენტის შრეში, რომელიც დისკრეტული ელემენტებისაგან— ჩვეულებრივ მარცვლებისაგან ან ბოჭკოებისაგან შედგება. სორბენტს აქვს დიდი ჯამური ზედაპირი. დაყოფას უზრუნველყოფს გასაყოფი ნარევის კომპონენტების განსხვავებულობა აბსორბციის უნარსა და მათი სორბციის და დესორბციის კინეტიკაში.

ქრომატოგრაფიას უწოდებენ ნივთიერებათა განმანაწილებელ მეთოდს, რომელშიც გასანაწილებელი ნივთიერება განაწილდება უძრავ და მოძრავ ფაზებს შორის. უძრავი ფაზის სახით გამოიყენებენ მყარ ნივთიერებას ან თხევადს.

თავისი მექანიზმით, რომელიც საფუძველია დაყოფის, ანსხვავებენ ადსორბციულ, განმანაწილებელ, იონგაცვლით, დალექვით და სხვა სახის ქრომატოგრაფიას. ადსორბციული ქრომატოგრაფია გამოიყენებს ადსორბციის მოვლენას, რომელიც მიმდინარეობს ადსორბენტის ზედაპირზე. საკვლევ ნარევს, რომელიც გახსნილია შესაბამის გამხსნელში ატარებენ მინის სვეტში, რომელშიც მოთავსებულია ადსორბენტი (სილიკაგელი, ალუმინის ოქსიდი, პოლიამიდი და სხვა.) ნარევის შემადგენელი ნაწილაკები, რომლებსაც აქვთ სხვადასხვა ადსორბციის უნარი, სორბენტის სხვადასხვა ნაწილში ნაწილდებიან. სვეტის ზედა ნაწილში განაწილდება უფრო მაღალი ადსორბციის მქონე ელემენტები, ბოლოში ნაკლები სორბციის მქონე ელემენტები.

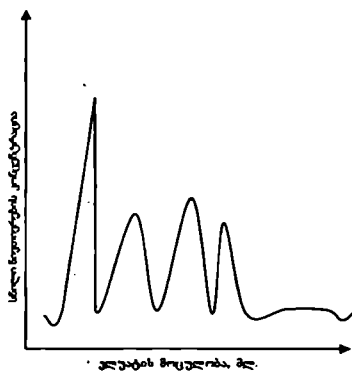
სორბციის მექანიზმი შეიძლება სხვადასხვა იყოს: უბრალო ადსორბცია, იონური გაცვლა, ნალექის გამოყოფა, ორ თხევად ფაზას შორის განაწილებული ხსნადი კომპლექსური ნაერთების წარმოქმნა. შესაბამისად გამოიყენება ადსორბციული, იონგაცვლითი, დალექვი-

თი და განმანაწილებელი ქრომატოგრაფია. განსხვავებულია ქრომატოგრაფიული დაცილების ტექნიკაც. სორბენტით შეიძლება შეივსოს სვეტი, ეს სვეტური ქრომატოგრაფიაა, შეიძლება მისი გამოყენება თხელი ფენის სახითაც – ეს ქაღალდის ან თხელშრეობრივი ქრომატოგრაფიაა.

ქრომატოგრაფიული დაცილება დაფუძნებულია სინჯის ცალკეული კომპონენტები გადაადგილდებიან სვეტში (ან მაგალითად, ფილტრის ქაღალდის ფურცელზე) სხვადასხვა სიჩქარით და შესაბამისად, ერთსა და იმავე დროში გაივლიან სხვადასხვა გზის მონაკვეთს. გამხსნელს, რომელიც ქრომატოგრაფიულ სვეტში გაივლის ელუენტად (გამომრეცხავი ნივთიერება) იწოდება, ხოლო ნივთიერების (ელემენტის) ელუენტთან ერთად გადაადგილების პროცესს ელუირებას უწოდებენ. ელუენტად იყენებენ ელექტროლიტების ხსნარებს.

დღეისათვის, შემუშავებულია მთელი რიგი ქრომატოგრაფიული დაცილების მეთოდები, რომლითაც შემდგომში ხდება ნივთიერების შედგენილობის თვისობრივი განსაზღვრა. თანამედროვე სვეტურ ქრომატოგრაფიაში მყარი ფაზა, როგორც წესი არ გამოაქვთ სვეტიდან და არ ჭრიან რგოლებად როგორც ადრეულ წლებში, არამედ ახდენენ ელუირებას მანამდე, სანამ სინჯის კომპონენტები თანმიმდევრულად ერთმანეთის მიყოლებით არ გამოვა სვეტიდან. კომპონენტის თითოეულ ფრაქციას აგროვებენ და მათზე ატარებენ ანალიზს. კომპონენტების განსაზღვრის მიზნით, შეიძლება გამოიყენონ დეტექტორი, რომელსაც უყენდება სვეტის გამოსასვლელს. ასეთი დეტექტორის ჩვენება რეგისტრირდება ავტომატურად, მიიღება გრაფიკი.

მიღებულ მრუდს ქრომატოგრამას უწოდებენ. ამ მრუდზე თითოეული პიკი შეესაბამება სინჯის ცალკეულ კომპონენტს, ხოლო თითოეული პიკის ფართი ახასიათებს მოცემული კომპონენტის ფარდობით შემცველობას.



ნახ.33. ელუირების მრუდი

დაცილების თანამედროვე ქრომატოგრაფიულ მეთოდს აქვს განსაკუთრებით დიდი შესაძლებლობები. უმრავლეს შემთხვევაში რამდენიმე წუთში მთლიანად შეიძლება დავაცილოთ ერთმანეთს 30-ზე მეტი კომპონენტი, რომელსაც შეიცავს ერთი ნიმუში. ქრომატოგრაფიული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს დავაცილოთ ორგანული ნაერთები, რომლებსაც აქვთ ერთნაირი სტრუქტურა და მსგავსი თვისებების მქონე არაორგანული ნივთიერებები. იონგაცვლითი ქრომატოგრაფიის მეთოდით ისეთი იზოტოპების დაცილებაც კი მოხერხდება, როგორიც არის ^{14}N და ^{15}N ამიაკის შემცველობაში. ამიტომაც ქრომატოგრაფია შეუცვლელია თანამედროვე ანალიზურ ქიმიაში. ქრომატოგრაფიული მეთოდები მიეკუთვნება საკმაოდ გავრცელებულ მეთოდთა რიცხვს.

მოკლედ აღვწეროთ ქრომატოგრაფიული მეთოდების არსი:

თხევად-ადსორბციული ქრომატოგრაფია ეფუძნება თხევადი ნივთიერებების დაცილებას სორბენტზე მათი განსხვავებული ადსორბციის უნარის გამო. მოცემულ სორბენტზე სორბციის უნარის მიხედვით ნივთიერებები წარმოქმნის ადსორბციულ მწკრივს $A > B > C$. ადსორბციული ყოველი წევრი, ფლობს რა უფრო მეტ ადსორბციულ სწრაფვას, ვიდრე მეორე, გამოაძევებს მას ნაერთებიდან და თავის მხრივ გამოძევდება წინამდებარეთი.

აირ-ადსორბციული ქრომატოგრაფია წარმოადგენს აირების ნა-

რევის დაყოფას მყარ სორბენტზე. სორბენტად (უძრავ ფაზად) იყენებენ აქტიურ დისპერსიულ მყარ ნივთიერებას. (აქტივირებულ ნახშირს, სილიკაგელს, ეოლიტებს და სხვა). მოძრავ ფაზად, რომელიც შეიცავს გასაყოფი აირების ნარევს, იყენებენ აირმატარებელს: არგონს, ჰაერს, აზოტს, ჰელიუმს, წყალბადს და სხვა. საკვლევი აირების ნარევი, გადაადგილდება რა აირმატარებელთან ერთად სვეტის გასწვრივ, იყოფა ცალკეულ კომპონენტებად მათი განსხვავებული ადსორბციის უნარის გამო. აირ-ქრომატოგრაფია მოდიფიცირებულ სორბენტზე ეფუძნება უძრავ ფაზად მყარი ადსორბენტის გამოყენებას, რომელიც მოდიფიცირებულია სითხის მცირე რაოდენობით. აქ დიდ როლს თამაშობს როგორც ადსორბცია მყარ ნივთიერებაზე, ასევე ხსნადობა სამოდიფიკაციო სითხეში.

აირ-სითხოვანი ქრომატოგრაფია არის აირადი ნარევის დაცილება სითხეში სინჯის კომპონენტების განსხვავებული ხსნადობის ან წარმოქმნილი კომპლექსების განსხვავებული სტაბილურობის გამო. უძრავი ფაზა ინერტულ მატარებელზე დასხმული სითხეა, მოძრავი – აირი.

გამანაწილებელი ქრომატოგრაფია ნივთიერებათა დაყოფაა მათი განსხვავებული განაწილების გამო ორ თხევად ფაზას შორის, რომელთაგან ერთ-ერთი უძრავი, ხოლო მეორე – მოძრავია.

რაოდენობრივი თვალსაზრისით, ეს განაწილება ხასიათდება ორ გამხსნელს შორის განაწილების კოეფიციენტით. მყარი მატარებლის გამოყენება განპირობებულია ერთ-ერთი ფაზის უძრაობის აუცილებლობით. ასეთად ყველაზე ხშირად იღებენ წყალს, უფრო იშვიათად სხვა გამხსნელს.

იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია არის ნივთიერებათა დაცილება, რომელიც დაფუძნებულია ხსნარში არსებული იონების შექცევად გაცვლაზე იონმიმომცვლელის შედგენილობაში შემავალ იონებზე.

დალექვითი ქრომატოგრაფია, ნივთიერებათა დაყოფაა მცირედ ხსნადი ნალექების თანამიმდევრობითი წარმოქმნის გამო, რომელიც მათი ხსნადობით არის განპირობებული. ხსნარის ფილტრაგეისას

ქრომატოგრაფიულ სვეტში მრავალგზის მეორდება ნალექების წარმოქმნისა და გახსნის პროცესები, რაც უზრუნველყოფს ნივთიერებების დაყოფას. ნალექების ხსნადობა და ხსნადობის ნამრავლი ელემენტარული პროცესის განმეორების შესაძლებლობა უზრუნველყოფილია ნალექების დამაგრებით მათი წარმოქმნის ადგილას. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ნალექები სვეტში ჩამოირეცხება და ქრომატოგრამა აღარ მიიღება.

რედოქსქრომატოგრაფია ნივთიერებების დაყოფაა სვეტში მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების მსვლელობის განსხვავებული სიჩქარეების გამო. ნივთიერებების დაყოფა განპირობებულია მორეაგირე ნივთიერებათა შესაბამისი რედოქსპოტენციალებით, აღმდგენის შემცველ სვეტს აღდგენითს უწოდებენ, მჟანგავის შემცველს – ჟანგვითს. აღმდგენების ხსნარის ქრომატოგრაფირების დროს ჟანგვით სვეტში ზონები განლაგდება ზემოდან ქვემოთ ნივთიერებების ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალის ზრდის შესაბამისად, ხოლო აღდგენით სვეტში – პირიქით.

ადსორბციულ-კომპლექსწარმოქმნელი ქრომატოგრაფია ნივთიერებათა დაყოფაა სვეტში წარმოქმნილი კომპლექსური ნაერთების შესაბამისი მდგრადობის კონსტანტების განსხვავების გამო. მატარებლად იყენებენ სორბენტს, რომელიც აკავებს კომპლექსწარმოქმნელსა და საკვლევ ნივთიერებებთან მისი რეაქციის პროდუქტებს. წარმოქმნილი კომპლექსური ნაერთი შთაინთქმება მატარებლით, კომპლექსის მოლეკულებსა და მატარებლის ზედაპირს შორის კავშირის დიდი სიმტკიცის გამო, კომპლექსწარმოქმნელ რეაგენტებად იყენებენ დიმეთილგლიოქსიმს, 8-ოქსიქინოლინს, ედტა-ს და სხვა.

იონური ქრომატოგრაფია–ნივთიერებათა დაყოფაა იონგაცვლითი ქრომატოგრაფიის პრინციპით, გამდინარე დეტექტორში მომდევნო განსაზღვრით. არსებითად ეს იონგაცვლითი ქრომატოგრაფიის ავტომატიზებული ვარიანტია, მაგრამ პრინციპული განსხვავებით იგი არა მხოლოდ დაცილების მეთოდია, არამედ განსაზღვრის მეთოდიც.

4.2.4. იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია

როგორც უკვე ავლინშნეთ, იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია არის ნივთიერებათა დაცილება, რომელიც დაფუძნებულია ხსნარში არსებული იონების შექცევად გაცვლაზე იონმიმომცვლელის შემადგენლობაში შემავალ იონებზე.

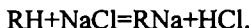
იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია შესაძლებლობას იძლევა მოხდეს, იონების დაყოფა ერთ-ერთი მათგანის (ან ჯგუფის) ნარევიდან გამოყოფის გზით. ასევე ძლიერ განზავებული ხსნარებიდან ნივთიერებების კონცენტრირება; ქრომატოგრაფიულ სვეტში ჟანგვა-აღდგენის პროცესის ჩატარება; ანალიზისათვის ხელისშემშლელი იონების ხსნარებიდან მოცილება.

იონგაცვლით ქრომატოგრაფიას საფუძვლად უდევს, იონების შექცევადი ქემოსორბცია საანალიზო ხსნარისა სორბენტის იონოგენურ ჯგუფებთან. იონების შებრუნებული გაცვლა იონების სისტემაში სორბენტი –გამხსნელი მიმდინარეობს სტექიომეტრულად.

იონოგენური სორბენტები თავისი ხასიათებიდან გამომდინარე სხვადასხვანაირია იმ უნარით, გაცვალოს მათში არსებული იონები ხსნარში არსებულ იონებზე. ამ ნივთიერებებს იონიტებს ან იონმიმომცვლელებს უწოდებენ. იონიტი შეიძლება იყოს როგორც ორგანული, ასევე არაორგანული ნივთიერებები. არაორგანული იონიტებიდან უფრო ხშირად იყენებენ ალუმინის ოქსიდს, სილიკატებს, ცეოლიტს და სხვა. ორგანული იონიტებიდან დიდი გამოყენება აქვს სინთეზურ მაღალმოლეკულურ ნივთიერებებს– იონგამცვლელ ფისებს. იონური გაცვლის უნარი განისაზღვრება იონიტის აღნაგობით, მაღალმოლეკულური ნაერთების სტრუქტურობით, მისი კარკასით, რომელზედაც დამაგრებულია აქტიური ჯგუფები. იონიტი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც პოლივალენტური იონი უარყოფითი ან დადებითი მუხტით, რომელიც იონური ბმით არის დაკავშირებული საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტის მქონე მოძრავ იონთან.

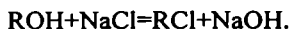
კატიონების ან ანიონების გაცვლიდან გამომდინარე იონიტები

იყოფა კატიონიტებად, რომელთა აქტიური ჯგუფებია სხვადასხვა სიძლიერის მქავეური ჯგუფები, როგორიც არის სულფოჯგუფი – CO_2H , კარბოქსილური $-\text{COOH}$ და სხვა, რომლებიც მარილებთან ურთიერთქმედებით წყალბადის იონებს ცვლიან სხვა კატიონებზე:



ანიონიონიტებად, რომელთა აქტიური ჯგუფებია ფუძე ჯგუფები: ალიფატური და არომატული ამინოჯგუფები – $\text{NH}_2 \equiv \text{NH}$; $\equiv \text{N}$ და სხვა და ამფოლიტებად წოდებული, რომლებსაც უნარი აქვთ ჰქონდეთ მქავეური და ფუძე ჯგუფები.

OH -ფორმაში ანიონიტებს უნარი აქვთ გაიცვალონ მარილების ანიონებზე



იონიტების კლასიფიკაცია ხდება აქტიური ჯგუფების დისოციაციის ხარისხის მიხედვით. არსებობს შემდეგი სახის იონიტები:

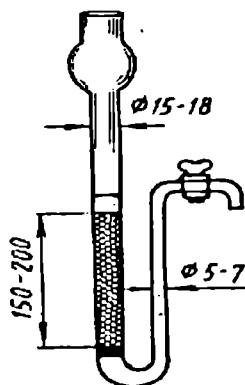
1. მაღალმქავეური კატიონიტები, რომელთაც შეუძლია იონების გაცვლა მქავა, ნეიტრალურ და ტუტე გარემოში.

2. დაბალმქავეური კატიონიტები, რომლებიც იონებს ცვლის $\text{PH} > 7$ გარემოში.

3. მაღალფუძე ანიონიტები – ყველანაირ გარემოში.

4. დაბალფუძე ანიონიტები – $\text{PH} < 7$ გარემოში.

იონგაცვლითი წონასწორობის დადგენა და ორ ფაზას შორის მიმოცვლის სიჩქარე დამოკიდებულია იონიტებისა და გასაყოფი ნივთიერებების თვისებებზე, ასევე ექსპერიმენტის ტექნიკაზე. იონთა გაცვლას აწარმოებენ ქრომატოგრაფულ სვეტში, რომელიც წარმოადგენს გარკვეული სიგრძის მინის მილს, რომლის სიგრძეა 10-30 სმ, დიამეტრი 1 სმ და მეტი, რომელიც



ნახ.34. ქრომატოგრაფიული სვეტი (კალონკა)

უზრუნველყოფილია გადამკეტი ონკანით, მილის ბოლო ნაწილში მირჩილული აქვს ფოროვანი მინის ფირფიტა ან ათავსებენ მინის ბამბის ტამპონს. უმარტივეს შემთხვევაში გამოიყენებენ ჩვეულებრივ ბიურეტის მილს.

იონიტების ანალიზში გამოყენების მიზნით, შესაძლებელია როგორც მარილოვან, ასევე H და OH-ფორმებში, იონიტებს წინასწარ ამზადებენ სამუშაოდ გამოსაყენებლად. 2-3-ჯერ ჩარეცხავენ წყლით, კათიონიტს დაასხამენ განზავებულ ქლორწყალბად მჟავას და აყოვნებენ 12 საათის პერიოდული მორევით. შემდეგ მას კვლავ ჩარეცხავენ ქლორ-იონის უარყოფით რეაქციამდე.

ანიონიტის ფუძე ფორმაში გადასაყვანათ, თავდაპირველად მას დაასხამენ განზავებულ ქლორწყალბად მჟავას და გააჩერებენ 12 საათის განმავლობაში, შემდეგ ჩარეცხავენ ქლორ-იონის მთლიანად მოცილებამდე და შემდეგ დაასხამენ 5%-იან ნატრიუმის კარბონატის ხსნარს ან 2%-იან ნატრიუმის ტუტის ხსნარს აყოვნებენ 2 საათის განმავლობაში, პერიოდული მორევით. ამის შემდეგ ხდება მისი ჩარეცხვა და მოთავსება ქრომატოგრაფიულ სვეტში.

კომპლექსწარმომქმნელ-სორბციულ ქრომატოგრაფიის მეთოდი სისტემებში ლითონის იონი (M^{Z+})-ანიონიტი, მოდიფიცირებული ლიგანდ-კომპლექსწარმომქმნელით (RL) – შეიძლება გამოყენებული იყოს რიგი ლითონის იონების დასაცილებლად. M^{Z+} -RL ქრომატოგრაფიულ სისტემაში ლითონების სორბცია ძირითადად ხორციელდება, საკვლევ ხსნარში არსებული ლითონის იონების მამოდიფიცირებულ ლიგანდებთან ანიონიტების ფაზაში ურთიერთმოქმედების შედეგად სხვადასხვა მდგრადობის ანიონური კომპლექსების წარმოქმნით, რომლებიც შემდეგ შეიძლება დაიყოს ქრომატოგრაფიულ სისტემაში სინჯის შეტანის შესაბამისი მეთოდებით.

M^{Z+} -RL სისტემებში სორბციის პროცესის რამდენიმე მექანიზმით განხორციელების შესაძლებლობა საშუალებას გვაძლევს გმოვიყენოთ ისინი იშვიათი და გარდამავალი ლითონების რთული ნარევების ქრომატოგრაფიული დაყოფისათვის ამ სისტემაში წარმოქ-

მნილი კომპლექსების მდგრადობის კონსტანტების სიდიდეთა განსხვავების საფუძველზე. მართლაც კომპლექსების მდგრადობის კონსტანტა ის ძირითადი ფაქტორია, რომელიც განსაზღვრავს სორბირებული ლითონების კატიონების ზონების განლაგების თაღარიგს. სორბენტის ფაზაში წარმოქმნილ ლითონთა კომპლექსების დესორბცია შეიძლება განხორციელდეს მჟავების ხსნარებით ან ლიგანდშემცველ მჟავების ხსნარებით, რომლებიც მადესორბირებელ ლითონებთან უფრო მდგრად კომპლექსებს წარმოქმნის. ზოგიერთი კომპლექსის დესორბცია შეიძლება დისტილირებული წყლით განხორციელდეს. მოცემული ლითონის იონის ელუირებისათვის ელუენტის შერჩევას ახდენენ M^{n+} -RL სისტემაში ლითონის სორბციისა და დესორბციის მექანიზმების საფუძველზე.

იონგაცვლითი ქრომატოგრაფიის მეთოდი გამოირჩევა განსაზღვრის მაღალი მგრძნობიარობით, სელექციურობით და სისწრაფით. საანალიზო სინჯის მცირე მოცულობით განსასაზღვრავი კონცენტრაციების ფართო დიაპაზონით. მეთოდი იძლევა სხვადასხვა დეტექტორისა და მათი კომბინაციების გამოყენების და სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობას.

იონური ქრომატოგრაფია ანიონებისა და მათი რთული ნარეგების ანალიზის საუკეთესო მეთოდია. დეტექტირებას, როგორც წესი, კონდუქტომეტრული მეთოდებით ატარებენ. ბოლო დროს გამოიყენება ელექტროქიმიური, სპექტროფოტომეტრული და სხვა მეთოდები.

4.2.5. აირ-ქრომატოგრაფია

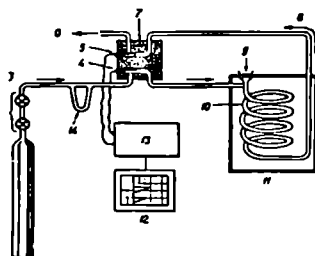
აირ-ქრომატოგრაფიაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ პირველ სტადიაზე, რომელსაც სორბციის სტადიას უწოდებენ, ქრომატოგრაფიულ სავსე სვეტში შეყავთ ნიმუში ორთქლის სახით. შემდეგში ელუირების სტადიაში ნიმუშის განაწი-

ლება ცალკეულ კომპონენტებად ხდება გამდინარე გაზური ფაზის დახმარებით. გასაყოფი ნივთიერება უძრავ და მოძრავ ფაზებს შორის ნაწილდება. დაყოფა ემყარება სინჯის კომპონენტების გადაადგილების განსხვავებას, რაც თავის მხრივ, ორ ფაზას შორის მათი განაწილებით განისაზღვრება. აირ-ქრომატოგრაფიის მეთოდში ნივთიერებათა დაყოფისათვის გამოიყენება სისტემები: აირი-სითხე და აირი-მყარი ნივთიერება. აირ-თხევად ქრომატოგრაფიაში უძრავ ფაზად იყენებენ მყარი მატარებლის ზედაპირზე თხელ ფენად დატანილ სითხეს, აირ-ადსორბციული ქრომატოგრაფიის შემთხვევაში უძრავი ფაზაა მყარი ადსორბენტი, მოძრავი ფაზა ორივე შემთხვევაში აირია, რომელსაც აირ-მატარებელს უწოდებენ. აირ-ქრომატოგრაფიის ძირითადი ნიშან-თვისებაა მაქრომატოგრაფირებული ნივთიერებების გადაყვანა აირად ფაზაში. ანალიზს აირ-ქრომატოგრაფიის მეთოდით აირ-ქრომატოგრაფზე ატარებენ, რომლის სქემა მოცემულია ნახაზზე.

ნახაზზე ნაჩვენებია ქრომატოგრაფის ძირითადი კვანძები. თუ ქრომატოგრაფი შეიარაღებული სითბოგამტარი დეტექტორით (კატარომეტრით), აირ-მატარებელი გაივლის დეტექტორის შედარების კამერაში, ხვდება სვეტში, გაივლის მას და ბრუნდება კატარომეტრის გამზომ კამერაში. აირ-მატარებელის სიჩქარე რეგულირდება და ფიქსირდება უბრალო მოწყობილობის დახმარებით.

ნივთიერებების დაცილება აირადი ქრომატოგრაფიული მეთოდით ხორციელდება შემდეგი თანმიმდევრობით. თავდაპირველად არეგულირებენ აირ-მატარებლის მიწოდების სიჩქარეს ქრომატოგრაფში (ის უნდა იყოს მუდმივი), ახურებენ ქრომატოგრაფიულ სვეტს და დეტექტორს განსაზღვრულ მუდმივ ტემპერატურამდე და ამოწმებენ. მოამზადებენ დეტექტორის ელექტრულ ჯაჭვს. ამის შემდეგ სვეტში შეყავთ ნიმუში, შეყვანილი აირადი ნიმუშის მოცულობის რაოდენობა დამოკიდებულია კონცენტრაციაზე და დასაყოფი კომპონენტების რაოდენობაზე და მერყეობს 1-დან 10 მლ-მდე, თხევადი ნიმუშის მოცულობა 0.1-დან 10 მიკროლიტრამდე. ნიმუშს

სწრაფად აწოდებენ სვეტს მიკრომპრიცის მეშვეობით. მიმწოდებელ სისტემაში ისეთი ტემპერატურაა, რომ მიწოდებული საანალიზო ნარევი მომენტალურად ორთქლდება.



ნახ.35. აირქრომატოგრაფიის სქემა სითბოგამტარობის დეტექტორით.

1. აირმატარებელი ბალონი. 2. რედუქტორი 3. სუფთა აირმატარებელი
4. შედარების კამერა 5. გაზოში კამერა 6. ატმოსფეროში გამოყვანი 7. დეტექტორი 8. აირმატარებელი+გამოყოფილი კომპონენტები 9. გაცხელებული ნიჟურის შეყვანი მოწყობილობა 10. სპირალური სვეტი 11. გამცხელებელი მოწყობილობა 12. თვითჩაწერი 13. ვესტონის ხიდი 14. როტამეტრი.

საანალიზო ნარევის ორთქლი წარიტაცება აირ-მატარებლის ნაკადით და მიეწოდება ანალიზის ჩასატარებლად საჭირო დონეზე. სვეტში საანალიზო ნარევი იყოფა კომპონენტებად, რომლებიც რიგ-რიგობით ხვდება დეტექტორში, საიდანაც სიგნალი რეგისტრატორით ფიქსირდება და მუშავდება გამოთვლითი ინტეგრატორის მეშვეობით.

ქრომატოგრაფიული სვეტი წარმოადგენს სპირალისმაგვარ ან უ-ს მაგვარ სპილენძის, ფოლადის ან მილის მილს გარე დიამეტრით 3,1-10 მმ.

დეტექტორი ემსახურება სვეტიდან გამოსასვლელი ნივთიერების კონცენტრაციის ან სხვა პარამეტრის დროსთან დამოკიდებულების უწყვეტ ფიქსაციას. თუ ნივთიერების კონცენტრაცია ფიქსირდება, დეტექტორს ეწოდება კონცენტრაციული, ხოლო თუ ფიქსირდება კონცენტრაციის ნამრავლი ნაკადის სიჩქარეზე-ნაკადური. ყველაზე

მეტად გავრცელებულია დეტექტორები სითბო გამტარობის (კატარომეტრი), ალის იონიზაციისა და ელექტრონული წატაცების პარამეტრების დაფიქსირებისათვის.

აირ-მატარებლის შერჩევა დამოკიდებულია გამოყენებული დეტექტორის ტიპზე. უძრავი ფაზის შეფასებისას და შერჩევისათვის მიზანშეწონილია მათი კლასიფიკაცია პირობითი ქრომატოგრაფიული პოლარობის მიხედვით. აირ-სითბოვან ქრომატოგრაფიაში მყარ მატარებელს, რომელზედაც დააქვთ უძრავი ფაზა, უნდა გააჩნდეს საკმარისი ხვედრითი ზედაპირი, მექანიკური სიმტკიცე, ფორებისა და ნაწილაკების ზომების ერთგვაროვანი განაწილება, აგრეთვე უნდა ფლობდეს უძრავი ფაზით შესვლების უნარს.

თანამედროვე ქრომატოგრაფების საშუალებით კონცენტრაციის გაზომვა ზონაში ნივთიერების რაოდენობასა და ქრომატოგრაფიული პიკის ფართს შორის პროპორციულობაზეა დამყარებული.

ქრომატოგრამის დამუშავება რაოდენობითი ანალიზისათვის, როგორც წესი, გულისხმობს პიკების სიმაღლეებისა ან ფართების გაზომვას. უპირატესად მიმართავენ პიკების ფართის გაზომვას, რისთვისაც ინტეგრატორს იყენებენ.

4.3. ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდები

ელექტროქიმიური მეთოდები მიეკუთვნება ფიზიკურ-ქიმიურს და დაფუძნებულია საანალიზო სისტემების ელექტრული პარამეტრების გაზომვასა და რეგისტრაციაზე.

ელექტროქიმიური მეთოდები ემყარება ელექტრული დენის ან ელექტროდის პოტენციალის გაზომვას, რომლებიც იქმნება ან იცვლება ქიმიური ან ელექტროქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის დროს. ძირითადად იყენებენ შემდეგ მეთოდებს: პოტენციომეტრის, პოლაროგრაფიის, ამპერმეტრულ გატიტრას, კულონომეტრიას, კონდუქტომეტრიას, კულონმეტრიას, ელექტროფორეზს.

4.3.1. პოტენციომეტრია

პოტენციომეტრია დაფუძნებულია საანალიზო ხსნარში ჩაშვებული ელექტროდების პოტენციალზე, რომელიც წარმოიქმნება ელექტროდისა და ხსნარის საზღვარზე, მას ეწოდება წონასწორული და მისი სიდიდე დამოკიდებულია ნივთიერების ბუნებაზე, კონცენტრაციაზე, გამხსნელის თვისებებზე, ტემპერატურასა და სხვა ფაქტორებზე.

პოტენციომეტრიაში ინდიკატორული ელექტროდის პოტენციალს ზომავენ რომელიმე იონის შემცველ ხსნარში შედარების ელექტროდის მიმართ, ანუ სხვანაირად, ტარდება არაპოლარიზებადი ელექტროდების პოტენციალების გაზომვა დენის არარსებობის დროს. ასეთ ხერხს პოტენციომეტრიას უწოდებენ. ყველაზე ფართოდ გამოიყენება წყალბად-იონების კონცენტრაციის გაზომვა მინის ინდიკატორული ელექტროდის საშუალებით (pH-მეტრია).

ელექტროდის წონასწორული პოტენციალის დამოკიდებულება ნივთიერების კონცენტრაციაზე ხსნარში გამოიხატება ნერსტის განტოლებით:

$$E = E_0 + \frac{0,058}{n} \lg C$$

სადაც E_0 -ნორმალური ელექტროდული პოტენციალია, (ცხრილების მონაცემები), n -ელექტრონების რაოდენობა, C -კონცენტრაცია მოლი/ლ. პოტენციალის უშუალო გაზომვა შეუძლებელია, ამისათვის მის გასაზომად გამოიყენება არაპირდაპირი მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ელექტროდის პოტენციალის სიდიდის შედარებაზე, სხვა ელექტროდის პოტენციალის სიდიდესთან. ორი ელექტროდი, რომლებიც ჩაშვებულნი არიან შესაბამის ხსნარში, მოცემულ პირობებში აქვთ თავიანთი საკუთარი პოტენციალი და წარმოქმნიან გაღვანურ ელემენტს. ამ ელემენტის ძაბვას უწოდებენ ელექტრომომძრავებელ ძალას (ე.მ.ძ.), რომელიც ტოლია ელექტროდების პოტენციალების ალგებრული სხვაობის და გამოითვლება

ფორმულით:

$$E_{\text{ემბ}} = E_A - E_K$$

სადაც ემბ – ელექტრომამოძრავებელი ძალაა,

E_A – ანოდის პოტენციალი,

E_K – კათოდის პოტენციალი.

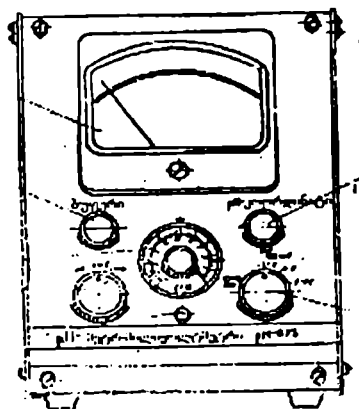
გალვანური ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალის გაზომვის დროს ორივე ელექტროდის პოტენციალის აბსოლუტური მნიშვნელობა რჩება უცნობი. ხელსაწყოს შკალაზე მიიღება ორი ელექტროდის პოტენციალის სხვაობის სიდიდე. ელექტრომამოძრავებელი ძალის გაზომვა ხორციელდება პოტენციომეტრის (pH-მეტრის) დახმარებით.

ერთ-ერთ ელექტროდს, რომელსაც იყენებენ ეწოდება ინდიკატორული ელექტროდი. ინდიკატორული ელექტროდი რეაგირებს საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილებაზე, არ არის მგრძნობიარე სხვა ნივთიერებების მიმართ, რომლებიც შეიძლება იყოს ხსნარში. ინდიკატორული ელექტროდის შერჩევა ხდება პროცესის ტიპის შესაბამისად, რომელიც ხსნარში მიმდინარეობს. ინდიკატორული ელექტროდის პოტენციალის სიდიდეს განსაზღვრავენ რომელიმე არაპოლარიზებადი ელექტროდთა მიმართებაში, რომლის პოტენციალი არ იცვლება გაზომვის პროცესში და ემსახურება მხოლოდ ინდიკატორული ელექტროდის პოტენციალის დადგენას, ასეთ ელექტროდს შედარების ან სტანდარტული ელექტროდი ეწოდება.

4.3.2. pH –ის გაზომვის პოტენციომეტრული მეთოდი

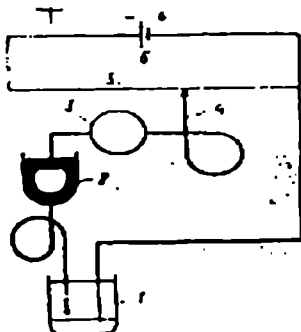
pH-ის პოტენციომეტრული განსაზღვრა მდგომარეობს ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალის გაზომვაში, რომელიც შედგება ორი ელექტროდისაგან, რომლის პოტენციალი დამოკიდებულია წყალბადიონების აქტიურობასა და შედარების ელექტროდზე –

სტანდარტულ ელექტროდზე, რომლის პოტენციალის სიდიდე ცნობილია. pH-ის გასაზომად იყენებენ მაღალომიან პოტენციომეტრებს ან pH-მეტრებს, რომლის შკალა დაგრადუირებულია მილივოლტებში, ან შესაბამის ერთეულებში.



ნახ.36. PH მეტრი. დანადგარის სქემა

1.სამუშაოთა სახეების გადამრთველის სახელური, 2. გაზომვითა დიაპაზონის გადამრთველი, 3. ტემპერატურის კომპენსაციის პოტენციომეტრის სახელური, 4. ზუფერზე აწყობის პოტენციომეტრი, 5. pH-კოორდინატი აწყობის პოტენციომეტრი, 6. მიკროამპერმეტრი 7. სასიგნალო ნათურა

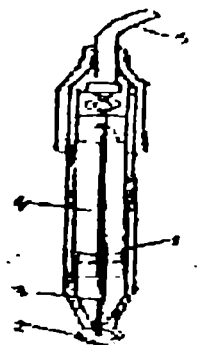


ნახ.37. პოლაროგრაფიული დანადგარის სქემა

1. ელექტროლიზორი, 2. ჭურჭელი ვერცხლისწყლით, 3. გალვანომეტრი, 4. მოძრავი კონტაქტი, 5. რეოქორდი 6. აკუმულატორი

ინდიკატორული ელექტროდის სახით pH-ის განსაზღვრის პრაქტიკაში მინის ელექტროდს გამოიყენებენ, ხოლო შედარების ელექტროდად—ქლორვერცხლისას.

მინის ელექტროდი. მინის ელექტროდის მოქმედება თხელი მინის აფსკსა და წყალბადის იონების გარკვეული კონცენტრაციის მქონე წყალხსნარებს შორის პოტენციალთა სხვაობის წარმოქმნაზე. მინის ელექტროდი სისტემა, რომელიც შეიცავს მინისაგან დამზადებულ პატარა ჭურჭელს—მილს, რომელსაც ქვედა ნაწილში მირჩილული აქვს სპეციალური ელექტროდი, მნიშვნელოვანი ელექტროგამტარობის მქონე მინის ბურთულით. ჭურჭელში ასხამენ სტანდარტულ ხსნარს (ქლორწყალბადმჟავას 0,1 N ხსნარს NaCl ან KCl დამატებით). მინის ელექტროდს აქვს სტანდარტული ელექტროდი — მილში ჩაშვებული ქლორვერცხლის ელექტროდი, ვერცხლის ქლორიდით დაფარული ვერცხლის მავთული.



ნახ.38. მინის ელექტროდი

მილს მჟავას ხსნარით და სტანდარტული ელექტროდით ჩაუშვებენ საკვლევ ხსნარში. უკანასკნელს ელექტროლიტური გამტარით აერთებენ სტანდარტული კალომელის ელექტროდთან და ღებულობენ ელექტრულ ჯაჭვს, რომლის ელექტრომამოძრავებელი ძალა დამოკიდებულია ხსნარში წყალბადის იონების აქტიურობაზე.

$$E_x = K + 0,058 \lg aH^+$$

სადაც K-მინის სახეობასა და ელექტროდის აღნაგობაზე დამოკიდებული კონსტანტაა.

მინის ელექტროდი გამოიყენება pH-ის გასაზომად 0-დან 12-13-მდე ზღვრებში.

4.3.3. პოტენციომეტრული განსაზღვრა იონსელექციური ელექტროდების გამოყენებით.

ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში წარმატებით იყენებენ ელექტროდებს, რომლებიც მგრძნობიარეა ხსნარში ერთი სახის იონების მიმართ და არამგრძნობიარეა – სხვების მიმართ. ასეთი ელექტროდების თვალსაჩინო მაგალითია მინის ელექტროდი, რომლის პოტენციალი მხოლოდ ხსნარში წყალბად-იონების აქტიურობაზეა დამოკიდებული. სპეციალური მინის ელექტროდები შერჩევითია ნატრიუმის, კალიუმის, ვერცხლის იონების მიმართ. თხევადი იონგაგვლითი მემბრანების შემცვლელი ელექტროდები საშუალებას იძლევა სელექციურად განისაზღვროს ლითონების ორმუხტიანი იონები.

არსებობს „მყარი“ ელექტროდები ფტორიდისა და ზოგიერთი სხვა ანიონებისა და კათიონების განსაზღვრისათვის. შექმნილია ფერმენტსუბსტრატული ნივთიერებების განსაზღვრისათვის, როგორცაა შარდოვანა, გლუკოზა, ამინომჟავები.

ელექტროდები შემდეგ ჯგუფებად შეიძლება დავყოთ:

1. მინის ელექტროდები;
2. მყარი ელექტროდები. იონური ასოციატების, ლითონთა ხელატების ან ნეიტრალური ლიგანდების საფუძველზე.
4. აირ-ელექტროდები
5. ელექტროდები ბიოლოგიური ნივთიერებების აქტიურობის (კონცენტრაციის) გასაზომად.

ამრიგად, იონსელექციური ელექტროდები – ეს ელექტროქიმიური ნახევარ ელემენტებია, რომლებშიც პოტენციალთა სხვაობა ფაზების ელექტროდური მასალა-ელექტროლიტი გაყოფის ზღვარზე დამოკიდებულია განსასაზღვრავი იონის კონცენტრაციაზე (აქტიურობაზე) ხსნარში. ელექტროდული მასალა წარმოადგენს მყარ ან თხევად მემბრანას, რომელშიც შეყვანილია განსასაზღვრავი იონების მიტაცების უნარის მქონე ნივთიერება. წყალთან ან ელექტროლიტის წყალხსნართან შეხებისას ამ იონებს უნარი აქვს მასში გადავიდნენ

(ან პირიქით). შედეგად მემბრანის ზედაპირი იძენს ხსნარში გადასული იონების საპირისპირო მუხტს და ფაზების გაყოფის ზღვარზე წარმოიქმნება პოტენციალი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ხსნარში მოცემული იონების აქტიურობაზე.

პირველი მემბრანული ელექტროდი იყო მინის ელექტროდი, რომელსაც იყენებდნენ წყალბად-იონების აქტიურობის - pH -ის გაზომვისათვის. შემდგომში შეიქმნა ბევრი სხვა მემბრანული ელექტროდი ნატრიუმის, კალიუმის, მაგნიუმის, ქლორის, ბრომის, ფტორის იონების, აგრეთვე მრავალი სხვა ელემენტის და რთული იონების განსაზღვრისათვის. იონსელექციური ელექტროდები მეტად მგრძნობიარეა; მათი საშუალებით იონების აღმოჩენის ზღვრებია 10^{-3} – 10^{-7} მოლი/ლ, ხოლო ერთი გაზომვისათვის საჭირო სინჯის მინიმალური რაოდენობა 0,05-1 მლ-ს შეადგენს.

ზოგიერთ პირობებში მემბრანული ელექტროდები სელექციურობას ამჟღავნებს გარკვეული სახის იონების მიმართ და გამოსადეგია მემბრანის შედგენილობაში არარსებული გარეშე იონების შემცველ ხსნარებში აქტივობის (კონცენტრაციის) გასაზომად.

მემბრანულ ელექტროდებს ფართოდ იყენებენ ხსნარში იონთა აქტივობის გასაზომად, როგორც პირდაპირი პოტენციომეტრიის მეთოდით, ასევე პოტენციომეტრული გატიტრის გზითაც.

იონსელექციურ ელექტროდებთან მუშაობისას საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ იონსელექციური ელექტროდებით ზუსტი გაზომვების ჩასატარებლად საჭიროა მათი საკმაოდ ხშირი დაკალიბრება. ელექტროდების დაკალიბრებისას არაზუსტად დამზადებული ხსნარები იძლევა მნიშვნელოვან ცდომილებას პირდაპირი პოტენციომეტრული გაზომვების დროს.

წონასწორობა მემბრანის ზედაპირსა და ხსნარს შორის ბუფერის უქონლობის დროს ან განზავებულ ხსნარებში ნელა მყარდება, ამიტომ გაზომვისათვის აუცილებელია ხანგრძლივი დრო, წინააღმდეგ შემთხვევაში, მიიღება არასწორი შედეგები.

მინის ელექტროდებთან მუშაობის $\text{pH} < 0$ დროს მისი მნიშვნე-

ლობა ჰემმარიტზე ერთობ მაღალია.

ჩვეულებრივი მინის ელექტროდი $pH > 9$ დროს გარკვეულწილად მგრძნობიარე ხდება ტუტე ელემენტების მიმართ.

გაზომვის წინ მიზანშეწონილია ელექტროდების ჩარეცხვა გამოხდილი წყლით.

4.3.4 პოტენციომეტრული გატიტვრა.

იონის კონცენტრაციის ცვლილებას თან ახლავს გასატიტრ ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდზე პოტენციალის ცვლილება. ამ დროს ეკვივალენტობის წერტილთან შეიმჩნევა პოტენციალის ნახტომი, რომელიც ფიქსირდება პოტენციომეტრის საშუალებით. რეაქციის მსვლელობას თვალს ადევნებენ ინდიკატორულად წოდებული ელექტროდის მეშვეობით შესაბამისი შედარების ელექტროდთან წყვილში, ზომავენ ამ ორ ელექტროდს შორის პოტენციალთა სხვაობას. პოტენციომეტრულ გატიტვრას იყენებენ ნეიტრალიზაციის, ჟანგვა-აღდგენის, დალექვისა და კომპლექსწარმოქმნის მეთოდებით განსაზღვრის დროს.

პოტენციომეტრული მეთოდი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს აგრეთვე ეკვივალენტობის რამოდენიმე წერტილი ელექტროლიტების ნარევის შემცველი ხსნარის გატიტვრისას. გატიტვრის ტრადიციული მეთოდიკით წარმართვისას საკვლევ ხსნარიან ჭიქაში ჩაუშვებენ წყალბადის ელექტროდს ელექტროლიტური ხიდის ერთ მხარეს, ხოლო ამ ხიდის მეორე მხარეს უერთებენ კალომელის (ქლორვერცხლის) შედარების ელექტროდს. საზღვრავენ პოტენციალსა და ბიურეტიდან იწყებენ გატიტვრას პერიოდულად რეაქტივის სამუშაო ხსნარის გარკვეული მოცულობის გამოშვებით (0,5–2,0მლ), მორევით და პოტენციალთა სხვაობის ათვლით. შედეგებს გამოსახვენ გრაფიკულად: აბსცისთა ღერძზე ზომავენ რეაქტივის სამუშაო ხსნარის მოცულობას, მლ-ში, ორდინატთა ღერძზე – pH

ან პოტენციალის სიდიდეს.

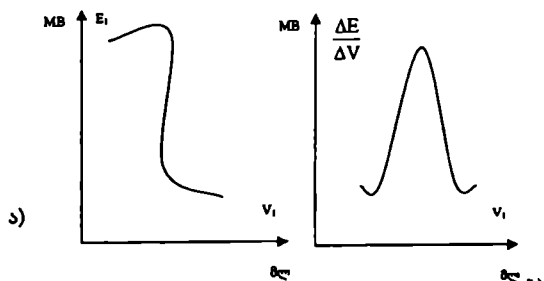
ინდიკატორული ელექტროდის და შესაძარებელი ელექტროდის პოტენციალებს შორის სხვაობით წარმოქმნილი ე.მ.ძ.-ის გაზომვა ხორციელდება

მაღალომურ პოტენციომეტრით (pH- მეტრით).

გატიტვრის შედეგები ჩაიწერება ცხრილის სახით. მაგალითად

V_1 ,მლ	V	E_{IMB} (მილივოლტი)	E	$\frac{\Delta E}{\Delta V}$	$\left(\frac{\Delta E}{\Delta V}\right) = A,$
5,00	0,1	250	—	—	—
5,10	0,1	263	13	130	—
5,20	0,1	291	28	280	+150
5,30	0,1	391	100	1000	+720
5,40	0,1	446	55	550	-450
5,50	0,1	468	22	220	-330
5,60	0,1	478	10	100	-120

გატიტვრის შედეგების მიხედვით აგებენ გატიტვრის მრუდს.



ნახ.39. გატიტვრის მრუდები

ა) ინტეგრალური, ბ) დიფერენციალური

ექვივალენტობის წერტილი შეიძლება განსაზღვრული იყოს ან ინტეგრალურ მრუდზე, ან როგორც მაქსიმუმის წერტილი დიფერენციალურ მრუდზე პოტენციომეტრული გატიტვრის. გარდა ამისა მას პოულობენ გამოანგარიშების გზით $E/\Delta V$ მაქსიმალური მნიშვნელობით და შესაბამისად $\Delta(E/\Delta V)$. ტიტრანტის ეკვივალენტური მოცულობა $V_{\text{эк}}$ გამოთვლიან შემდეგი ფორმულით:

$$V_{\text{зд}} = V_1 + (V_2 - V_1) \frac{A_{V_1}}{A_{V_1} - A_{V_2}}$$

სადაც V_1 – ტიტრანტის მოცულობაა, რომელიც შესაბამისობაშია უკანასკნელ დადებით (უარყოფით) A_V სიდიდის მნიშვნელობასთან; V_2 – ტიტრანტის მოცულობაა შესაბამისად პირველ უარყოფით (დადებით) A_V სიდიდის მნიშვნელობასთან.

მაგალითად ცხრილში პოტენციომეტრული გატიტრის ტიტრანტის მოცულობის მონაცემებით შესაბამისი უკანასკნელი დადებითი სიდიდეების მნიშვნელობა A_V ტიტრანტის მოცულობა 5,30 მლ, შესაბამისი პირველი უარყოფითი მნიშვნელობა სიდიდის A_V 5,40 მლ. ამ მონაცემების ჩასმა ეკვივალენტური მოცულობის გაანგარიშების ფორმულაში მივიღებთ:

$$V_{\text{экв}} = 5.30 + (5.40 - 5.30) \frac{720}{720 - (-450)} = 5.36 \text{ მლ.}$$

პოტენციომეტრული გატიტრა უფრო ზუსტია, ვიდრე ინდიკატორებით განხორციელებული. ამ მეთოდით შეიძლება განხორციელდეს გატიტრა ნივთიერებათა ნარევების, შეფერილი და მღვრიე ხსნარების საკმაოდ მაღალი ხარისხის სიზუსტით, მაგრამ მიუხედავად მრავალი უპირატესობისა, ექსპრეს-ანალიზის მიზნით ეს მეთოდი ნაკლებად გამოსადეგია.

4.3.5. პოლაროგრაფია

პოლაროგრაფია – ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდია, დაფუძნებული დენის ძალის გაზომვაზე, რომელიც წარმოიქმნება საანალიზო ნივთიერების ხსნარის ელექტროლიზის დროს მიკროელექტროდზე. ამ მეთოდით ზომავენ დენს, რომელიც ელექტროლიზის დროს გადის უჯრედში ელექტროდის პოტენციალის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. აგებენ დენის ძალის პოტენციალზე დამოკიდებულების მრუდს, რომელიც საანალიზო იონის აღდგენის მომენტში მკვეთრად იწევს მაღლა პოლაროგრაფიული ტალღის წარმოქ-

მნით. პოლაროგრაფიული მეთოდით ხდება ნივთიერების მცირე რაოდენობის ელექტროლიტური აღდგენა (უფრო იშვიათად დაჟანგვა) წვეთოვან ვერცხლისწყლის ელექტროდზე. პოლაროგრაფიული ტალღის მდებარეობის მიხედვით შეიძლება მსჯელობა ელექტროლიტის თვისებითი შედგენილობის შესახებ, ხოლო ტალღის სიმაღლით – აღსადგენი იონის კონცენტრაციის შესახებ. მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იყოს ლითონამდე აღსადგენი არაორგანული იონების ჟანგვის უფრო დაბალი რიცხვის მქონე ხსნად ნაერთებამდე აღმდგენადი არაორგანული ნივთიერებების განსაზღვრისათვის, აგრეთვე მრავალი ორგანული ნივთიერებების განსასაზღვრავად.

პოლაროგრაფიის მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს:

ელექტროლიტის ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდებზე მოდებული ძაბვის თანდათანობითი გაზრდისას, დასაწყისში დენი ხსნარში თითქმის არ გადადის პოტენციალთა სხვაობის გარკვეული მნიშვნელობისათვის, რომელიც საკმარისია ელექტროლიტის დაშლისათვის, დენის ძალა მკვეთრად იზრდება. პოტენციალთა სხვაობის ამ სიდიდეს დაშლის პოტენციალი ეწოდება. თუ ავიღებთ ერთ ელექტროდს მცირე ზედაპირით (ჩვეულებრივ ვერცხლიწყლის წვეთოვან კათოდს), ხოლო მეორეს – დიდი ზედაპირით, მაშინ ხსნარში მუდმივი ელექტრული დენის გატარების დროს კონცენტრაციის ძირითადი ცვლილება შეინიშნება მცირე ზედაპირის მქონე ელექტროდთან. ასეთი მოვლენა განპირობებულია დენის დიდი ძალით, რომელიც ელექტროლიზის პროცესში პატარა ელექტროდის ზედაპირის ერთეულზე მოდის ე. ი. ელექტროდზე დენის მაღალი სიმკვრივით.

ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობის გადიდებასთან ერთად იზრდება ხსნარში გამავალი დენის ძალა და პატარა ელექტროდზე დენის სიმკვრივე, რასაც საბოლოოდ ისეთ მომენტამდე მივყავართ, როდესაც კათოდისაკენ მოძრავი ყველა იონი ასწრებს განმუხტვას. ელექტროდის გარშემო შრე ხსნარიდან იონებით ივსება უფრო ნელა, ვიდრე განმუხტვის პროცესი ელექტროდის ზედაპირზე. ამ შემთხვევაში პოტენციალთა სხვაობის შემდგომი გადიდება

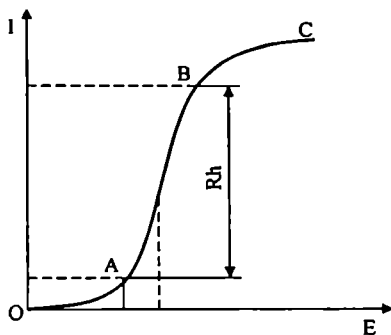
აღარ იწვევს ხსნარში გამავალი დენის ძალის მნიშვნელოვან გაზრდას.

წონასწორობის დროს როდესაც აღსადგენი იონების რაოდენობა ვერცხლისწყლის კათოდზე განმუხტული იონების რაოდენობას უტოლდება, დენის ძალა მუდმივი ხდება. ისეთ დენის ძალას, რომლის დროსაც მიღწეულია ელექტროდის ირგვლივ დიფუზიის ხარჯზე მიწოდებული საანალიზო ნივთიერების ყველა იონის სრული განმუხტვა, ზღვრულ ან დიფუზიურ დენს უწოდებენ. ნივთიერების უფრო მაღალი კონცენტრაციის ხსნარიდან დაბალი კონცენტრაციის ხსნარში დიფუზიის სიჩქარე ორივე ხსნარის კონცენტრაციათა სხვაობის პროპორციულია, ამიტომ დიფუზური დენი ხსნარში განსასაზღვრავი იონის კონცენტრაციის პროპორციულია.

დიფუზური დენის ძალის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე გამოისახება ილკოვიჩის განტოლებით :

$$J = 605nD^{1/2} \cdot m^{3/4} \cdot \tau^{1/6} \cdot C$$

სადაც J —დენის ძალაა, მკა (მკა=10⁻⁶). n —აღდგენის დროს იონის მიერ მიღებული ელექტრონების რიცხვი, D – იონის დიფუზიის კოეფიციენტი სმ²/წმ⁻¹; m —კაპილარიდან 1 წამში გამდინარე ვერცხლისწყლის მასა მგ; τ – წვეთის პერიოდი წმ (ერთი წვეთის «სიცოცხლის» დრო); C —განსასაზღვრავი იონის კონცენტრაცია გმოლი/ლ, დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების მრუდი ნაჩვენებია ნახაზზე.



ნახ.40. პოლაროგრაფიაში დენის ძალის დამოკიდებულება ძაბვაზე

აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობა; ორდინატთა ღერძზე – ხსნარში გამავალი დენის ძალის მნიშვნელობა. ნულიდან A-მდე მრუდის მონაკვეთზე ელექტროლიზი არ მიმდინარეობს. ძაბვის გადიდებისას აქ პრაქტიკულად არ ხდება წრედში დენის ძალის ცვლილება. გამავალი დენის ძალა მეტად მცირეა. დენი ამ ადგილზე წარმოიქმნება ვერცხლიწყლის წვეთის დამუხტვითა და მინარევების აღდგენით. მრუდის ამ უბანზე საანალიზო ნივთიერების დაშლის პოტენციალი არ მიიღება A- და B-მდე უბანზე პოტენციალთა სხვაობის უმნიშვნელო გადიდება იწვევს დენის ძალის მკვეთრ ზრდას. ეს უბანი შეესაბამება ელექტროლიზის პროცესის ნორმალურ მიმდინარეობას, რომელსაც ელექტროდის გარშემო შრის სულ უფრო ინტენსიური გაღარიბება მოყვება. B-დან C-მდე უბანი ახასიათებს პროცესს, როდესაც ელექტროდის გარშემო შრეში მყოფი საანალიზო ნივთიერების ყველა იონი ასწრებს განმუხტვას. ეს უბანი ხასიათდება წრედში დენის მუდმივობით ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობის თანდათანობით გაზრდის დროს.

ხსნარში გატარებული დენის ძალის ელექტროდებს შორის ძაბვაზე დამოკიდებულების მრუდს ეწოდება ვოლტამპერული ან პოლაროგრაფიული მრუდი. მას პოლაროგრაფიულ ტალღასაც უწოდებენ. ტალღის სიმაღლე h ზღვრულ დენს შეესაბამება და საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. თუ A წერტილიდან B წერტილამდე მანძილს ორ ტოლ ნაწილად გავყოფთ და მიღებული წერტილიდან დავეშვებით პერპენდიკულარს აბსცისთა ღერძზე, იგი მისგან ჩამოჭრის იმ მონაკვეთს, რომელიც ზღვრული დენის ნახევრის მიღწევისათვის აუცილებელ პოტენციალს ახასიათებს. ეს არის ნახევარტალღის პოტენციალი E_x . ნახევარტალღის პოტენციალი დამოკიდებულია არა გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციაზე, არამედ აღსადგენი იონის ბუნებაზე, ამიტომ იგი ხსნარში არსებული იონის თვისებებით მახასიათებლად გამოიყენება. აღწერილი პროცესი შეიძლება განხორციელებული იყოს

კათოდის ზომებისა და ქიმიური ბუნების მუდმივობის შემთხვევაში. პოლარიზაციისათვის განკუთვნილი მიკროელექტროდის მიმართ მოთხოვნებს ყველაზე უკეთესად აკმაყოფილებს ვერცხლისწყლის (უწყვეტად განახლებადი) წვეთოვანი კათოდი.

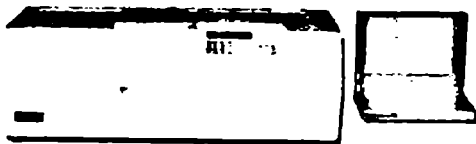
ხსნარში მხოლოდ საანალიზო მარილის იონების არსებობისას ელექტრული დენის მოქმედებით იონების გადატანა ამახინჯებს პოლაროგრაფიული განსაზღვრის პროცესს და ძლიერ ამწელებს ანალიზის ჩატარებას, მაგრამ თუ საანალიზო ხსნარზე დამატებულია სხვა მარილი, რომლის დაშლა უფრო მაღალი პოტენციალთა სხვაობის დროს ხდება, ვიდრე ეს საჭიროა განსაზღვრავი ნივთიერებისათვის, მაშინ ე. წ. ფონის კათიონებიც მიიზიდება კათოდის მიერ, მაგრამ მოცემული პოტენციალის დროს ისინი არ განიმუხტება. ამრიგად, განსაზღვრავი ნივთიერების წილი იონების დენის გადატანაში მცირდება. თუ დამატებული მარილის კონცენტრაცია საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციასთან შედარებით გაცილებით დიდია, მთელი დენი პრაქტიკულად დამატებული მარილის იონებით იქნება გადატანილი. ასეთ შემთხვევაში ელექტრული დენის მოქმედებით საანალიზო იონების მოძრაობის სიჩქარე ნულს უახლოვდება. ინდიფერენტულ მარილს, რომელსაც უმატებენ საანალიზო ნივთიერების იონების ელექტრული დენის მოქმედებით მოძრაობის ასაცილებლად, უწოდებენ პოლაროგრაფიულ ფონს ან უბრალოდ ფონს. იმისათვის, რომ ხსნარში გამავალი მუდმივი ელექტრული დენი არ იწვევს საანალიზო ნივთიერების იონების ინტენსიურ მოძრაობას, ფონის კონცენტრაცია 100-1000-ჯერ უნდა აღემატებოდეს განსაზღვრავი მარილის კონცენტრაციას.

მოცემული მეთოდი საშუალებას იძლევა:

- 1) ერთდროულად დადგინდეს სინჯის თვისებითი და რაოდენობითი შედგენილობა.
- 2) დაცილების გარეშე რამდენიმე ელემენტის ერთდროული განსაზღვრის შესაძლებლობას.
- 3) ჩატარდეს ცდები განმეორებით ერთი და იმავე სინჯზე. პო-

ლაროგრაფიული ანალიზის მეთოდი გამოირჩევა სიმარტივით, სიზუსტით, განსაზღვრის სისწრაფით და მაღალი მგრძნობიარობით.

თანამედროვე ლაბორატორიებში აქტიურად გამოიყენებენ "Perkin Elmer" კომპანიის მიერ წარმოებულ პოლაროგრაფებს, რომლებსაც უნარი



ნახ.41. პოლაროგრაფი

აქვთ სხვადასხვა სიგრძის ტალღის დროს, უსაზღვრო (0,0001-მდე) სიზუსტით ჩაატარონ გაზომვები. ხელსაწყოები იმართებიან კომპიუტერებით, აღჭურვილია სხვადასხვა კიუვეტებით და დამხმარე მოწყობილობებით.

4.3.6. კულონმეტრია

არჩევენ კულონმეტრიის პირდაპირ და არაპირდაპირ მეთოდებს. არაპირდაპირია კულონმეტრული გატიტრის მეთოდი. პირდაპირი კულონმეტრიის მეთოდი ხასიათდება იმით, რომ განსასაზღვრავი ნივთიერება განიცდის ელექტროქიმიურ დაჟანგვას ან აღდგენას უშუალოდ ერთ-ერთ ელექტროდზე, ხოლო თანამდევი ქიმიური რეაქციები ხსნარში არ ხდება. შესაძლებელია შემდეგი ტიპის რეაქციები:

1. ლითონთა კათიონების აღდგენა და მათი თავისუფალი სახით გამოყოფა (ისაზღვრება Cu, Pb, Cd, Bi, აგრეთვე ზოგიერთი ლითონის კათიონთა ნარევი). კათოდად ხელსაყრელია ლითონური ვერცხლისწყლის გამოყენება.

2. ელექტროლიზით ხსნარიდან წინასწარ გამოყოფილი ლითონების ანოდური დაჟანგვა, იჟანგება Ag და ზოგიერთი სხვა ლითონების 10^{-8} - 10^{-9} გ.

3. ხსნარში იონების ელექტროდული დაჟანგვა და აღდგენა. ამ ხერხით, მაგალითად, რკინის განსაზღვრის დროს Fe^{2+} იონები

იჟანგება Fe^{3+} -მდე. ასეთი გზით საზღვრავენ As, U, V, Cr, Sb და სხვა ელემენტებს, აგრეთვე ორგანულ ნივთიერებებს.

არსებობს არაპირდაპირი კულონმეტრიის ორი ვარიანტი: კულონმეტრია მუდმივი პოტენციალით და კულონმეტრია მუდმივი დენის ძალით. პირველი დამყარებულია ელექტროდის პოტენციალის კონტროლზე და ამ პოტენციალის მუდმივი მნიშვნელობის შენარჩუნებაზე მთელი ელექტროლიზის განმავლობაში. დენის ძალა თანდათან კლებულობს, ვინაიდან განსასაზღვრავი ნივთიერების კონცენტრაცია განუწყვეტლივ ეცემა. მუდმივი დენის ძალის კულონმეტრია ელექტრობის რაოდენობის განსაზღვრის ქრონომეტრული მეთოდია. იგი დამყარებულია იმაზე, რომ მთელი ელექტროლიზის განმავლობაში მუდმივი დენის ძალას ინარჩუნებენ და ელექტროლიზის ხანგრძლივობას წამზომით საზღვრავენ. ქრონომეტრულ მეთოდს იყენებენ იმ შემთხვევაში, თუ შესაძლებელია იმ მომენტის დადგენა, რომლის დროსაც განსასაზღვრავი ნივთიერების ელექტროქიმიური გარდაქმნა მთლიანად დასრულებულია. მუდმივ დენის ძალას ინარჩუნებენ წრედში დამატებითი წინაღობების რეგულირებით. ელექტროლიზის დროს ძაბვა უჯრედის ელექტროდებზე ჩვეულებრივად იზრდება ხსნარში იონების კონცენტრაციის ცვლილების გამო, ეს რხევები დენის წყაროს ძაბვასთან შედარებით უმნიშვნელოა, ამიტომ დენის ძალაზე თითქმის არ ახდენს გავლენას და დენის ძალა მთელი ელექტროლიზის პროცესში პრაქტიკულად მუდმივი რჩება.

4.4. ანალიზის კოლორიმეტრული და სპექტროფოტომეტრული მეთოდები

კოლორიმეტრული და სპექტრომეტრული მეთოდები წარმოადგენენ ანალიზის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან და გავრცელებულ მეთოდს. ეს დაფუძნებულია ხსნარის უნარზე შთანთქმოს ხილული ან

სხვა ელექტრომაგნიტური გამოსხივება. მშთანთქმელი ნივთიერების კონცენტრაცია ხსნარში პროპორციულია შთანთქმული გამოსხივების რაოდენობისა. ამიტომ სინათლის შთანთქმის ან სხვა გამოსხივების გაზომვით შეიძლება განისაზღვროს მშთანთქმელი ნივთიერების რაოდენობა.

კოლორიმეტრულ ანალიზში ან კოლორიმეტრიაში შეფერილი ხსნარის რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის გამოიყენებენ მის უნარს შთანთქას სინათლე. ფოტომეტრულ მეთოდებში ხსნარზე მიწოდებული გამოსხივების ენერგიის დამოკიდებულებას, მასში გავლილი გამოსხივების ენერგიასთან ზომავენ დეტექტორით, რომელშიც ხშირად თვისობრივად გამოიყენება ფოტოელემენტი.

ρ/ρ_0 თანაფარდობას უწოდებენ გამტარებლობას, ხოლო $I_g\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)$

ხსნარის მიერ (ოპტიკური სიმკვრივის) შთანთქმას, სადაც ρ_0 - ენერგიაა გამოსხივების ნაკადისა, რომელიც მიეწოდება ხსნარს, ρ - გამოსხივების ნაკადის ენერგიაა, რომელიც გაივლის მასში. თუ შთანთქმას ან გატარებას ზომავენ განსაზღვრული ტალღის სიგრძეზე, მაშინ მეთოდს ფოტომეტრულს უწოდებენ. სპექტრომეტრულ მეთოდებში ხილულ სინათლესთან, თანაბრად იყენებენ გამოსხივების ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ სპექტრის არეს. ტერმინი კოლორიმეტრია (კოლორიმეტრული ანალიზი) ხშირად იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როცა სპექტრომეტრულ განსაზღვრას ატარებენ ხილულ არეში, თუ სპექტრომეტრულ განსაზღვრას ატარებენ სპექტრის ულტრაიისფერ, ინფრაწითელ ან სხვა არეში გარდა ხილულისა, მაშინ ტერმინი კოლორიმეტრული ანალიზი არასწორია.

დღისათვის შემუშავებულია და აღწერილია უმრავლესი ქიმიური ელემენტების და ორგანული ნაერთების სპექტრომეტრული და კოლორიმეტრული მეთოდები. ჩვეულებრივად ანალიზის ამ მეთოდებს იყენებენ მცირე რაოდენობის ნივთიერებების განსასაზღვრავად (კვალი 1-2% მდე).

სპექტროფოტომეტრულ ანალიზს უფრო ხშირად ატარებენ

ორი ხერხით. ამათგან პირველი, რომელიმე ნივთიერების ან იონის რაოდენობის განსასაზღვრავად ხსნარში, მსჯელობენ მათი ბუნებრივი შეფერილობით. ამ მეთოდით საზღვრავენ ისეთი ინტენსიური შეფერილობის იონებს, როგორიცაა MnO_4^- და $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, ასევე ორგანულ საღებავებს. სხვა ხერხით ნაერთების სპექტრომეტრული განსაზღვრა, რომლებიც არ შთანთქავენ ხილულ სინათლეს (მაგალითად, ზოგიერთი ორგანული ნაერთები), იყენებენ მათ უნარს შთანთქან გამოსხივება ულტრაიისფერ ან ინფრაწითელ სტექტრის არეში. მცირედ შეფერილ და უფრო იონებთან ან მოლეკულებთან წინასწარ ისეთ რეაქციებს ატარებენ, რომლის შედეგად ისინი წარმოქმნიან ინტენსიურ შეფერილ ნაერთებს. ზომავენ ნაერთების მიერ შთანქმულ ნივთიერების კონცენტრაციას. ამგვარად საზღვრავენ არაორგანულ ნაერთების უმრავლესობას. მაგალითად რკინა(III)-ის განსაზღვრისათვის იყენებენ კაშკაშა შეფერილ როდანიდურ კომპლექსს, ხოლო რკინა(II)-ის ხსნარში სისხლისფერ-წითელ კომპლექსის წარმოქმნისას ორგანულ რეაგენტ 1,10-ფენანტროლინთან. ტიტან(IV) განსაზღვრა დაფუძვნებულია წყალბადის პეროქსიდთან ან ასკორბინის მჟავასთან მის რეაქციაზე, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ინტენსიური წითელი ფერი.

თანამედროვე პირობებში ქიმიურ ლაბორატორიებში, ანალიზის ფოტომეტრული მეთოდები ფართოდ გამოიყენება.

ფოტომეტრული მეთოდები ემყარება საანალიზო ნივთიერების ხსნარების მიერ სხივური ენერგიის შთანთქმის გაზომვას. შთანთქმის სპექტრის ხასიათი განსასაზღვრავი ნაერთის თვისებითი ნიშანია, ხოლო შთანთქმის სიდიდე რაოდენობითი მახასიათებელია, რომელიც მოცემული ნივთიერების შემცველობაზე მსჯელობის საშუალებას იძლევა. სხივური ენერგიის შთანთქმა, სხვა ერთიანი პირობების შემთხვევაში, მშთანთქავი ნივთიერების კონცენტრაციის პროპორციულია. ფოტომეტრულის ცნება მოიცავს მეთოდებს, როგორიცაა კოლორიმეტრული, ფოტოელექტროკოლორიმეტრული, სპექტროფოტომეტრული და ფოტომეტრული. ყველა მეთოდის სა-

ფუძველია განსასაზღვრავი ნივთიერების მიერ სინათლის შთანთქმა სპექტრის ხილული, ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ უბანში.

ფოტომეტრული მეთოდის არსი შეიძლება უფრო ფართოდაც განისაზღვროს, სახელდობრ, ამ მეთოდებში იყენებენ დამოკიდებულებას ნივთიერების შედგენილობას, რაოდენობასა და მის შთანთქმას, შუქგაბნევას, სინათლის გარდატეხას (რეფრაქციას), პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვასა და ლუმინესცენციას შორის.

ფოტომეტრული მეთოდი დამყარებულია განსასაზღვრავი ნივთიერების, ნარევის კომპონენტის ან მათი შეფერილი ანალიზური ფორმების უნარზე- შთანთქან ოპტიკური დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება. მშთანთქავი ნივთიერების კონცენტრაციას საზღვრავენ შთანთქმის გაზომვით. ყველაზე მეტად გავრცელებულია ანალიზის ფოტომეტრული მეთოდები, რომლებიც ემყარება სპექტრის ხილულ არეში შთანთქმას, ე. ი. 400-780 ნმ ტალღის სიგრძეების ინტერვალში. ეს აიხსნება ინტენსიურად შეფერილი მრავალი ორგანული და არაორგანული ნაერთის მიღების შესაძლებლობით, რომლებიც გამოიყენება სპექტრის ხილულ უბანში მათი ფოტომეტრული განსაზღვრისათვის საკმაოდ მარტივი ხელსაწყოების საშუალებით.

ფოტომეტრულ ანალიზში გამოყენებულ ქიმიურ რეაქციებს, მათ ქიმიზმში განსხვავების მიუხედავად აუცილებლად უნდა ახლდეს ხსნარის შუქშთანთქმის წარმოქმნა, შეცვლა ან შესუსტება. ისევე, როგორც რაოდენობით ანალიზში გამოყენებული ყოველი რეაქცია, ფერადი რეაქცია უნდა მიმდინარეობდეს შერჩევითად, სწრაფად და სრულად. გარდა ამისა, წარმოქმნილი ანალიზური ფორმის შეფერვა მდგრადი უნდა იყოს დროში და სიგანლის მოქმედების დროს, ხოლო მშთანთქავი ნივთიერების კონცენტრაციაზე ინფორმაციის მატარებელი ხსნარის მიერ შთანთქმა უნდა ექვემდებარებოდეს ბუგერ-ლამბერტს-ბერის კანონს, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს შთანთქმასა და კონცენტრაციას. ხსნარის შეფერვის ინტენსივობის დამოკიდებულება შეფერილი ნივთიერების კონცენტრაციასა და ხსნარის

შრის სისქისაგან გამოისახება შთანთქმის ძირითადი კანონით, რომელსაც ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონი ეწოდება. (ზოგიერთი ავტორი მას ბუგერის კანონს უწოდებს);

“ერთი და იგივე შეფერილი ნივთიერებების ხსნარები ამ ნივთიერებების ერთნაირი კონცენტრაციისა და ხსნარის შრის ერთნაირი სისქის დროს ყოველთვის შთანთქავს სინათლის ენერგიის ტოლ რაოდენობას, ე. ი. ასეთი ხსნარების შთანთქმა ერთნაირია” ან “ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივე სხვა ერთნაირი პირობების შემთხვევაში ნივთიერების კონცენტრაციისა და მშთანთქავი შრის სისქის პირდაპირპროპორციულია”. ინტენსიურობა გამოსხივების (მონოქრომატულის-სპექტროფოტომეტრიაში გარკვეული ტალღის სიგრძის გამოსხივებისა და არამონოქრომატულის- ფოტოელექტროკოლორიმეტრიაში და კოლორიმეტრიაში უპირატესად სპექტრის ხილულ უბანში), რომელმაც განვლო შეფერილ ხსნარში კიუვეტა და მოხვდა თვალის ბადურაზე ან მგრძნობიარე ფოტოელემენტზე, კიუვეტაში შემავალი სინათლის კონის ინტენსიურობაზე მცირე იქნება. შეფერილ ხსნარებზე დაცემული სინათლის სხვადასხვა სიგრძის ტალღის შთანთქმის ხარისხი არაერთნაირია. ხსნარის მიერ სხივური ენერგიის შთანთქმა სპექტრის ხილულ და ულტრაიისფერ უბანში შერჩევითია და მშთანთქავი მოლეკულების ან იონების თვისებებზეა დამოკიდებული, ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონი გამოისახება ტოლობით:

$$I_i = I_0 \cdot 10^{-\epsilon \ell}$$

თუ ტოლობას გავალოვართმებთ, ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\lg \frac{I_i}{I_0} = -\epsilon c \ell$$

სადაც I_i – ხსნარში გასული სინათლის ნაკადის ინტენსიურობაა, I_0 -ხსნარზე დაცემული სინათლის ინტენსივობაა; E -სინათლის შტანთქმის კოეფიციენტი-მუდმივი სიდიდე (დამოკიდებულია გახსნილი ნივთიერების ბუნებაზე, ტემპერატურაზე, გამხსნელზე, სინათლის ტალღის სიგრძეზე); c -ხსნარში შეფერილი ნივთიერების მო-

ლური კონცენტრაცია; I- ხსნარის შრის სისქე, სმ.

$$I_g = \frac{I_i}{I_0} \text{ სიდიდეს ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს (D) უწოდებენ:}$$

$$D = I_g \frac{I_0}{I_i} = \epsilon c l$$

ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე შეფერილი ხსნარის კონცენტრაციისა და ხსნარის შრის სისქის პირდაპირპროპორციულია.

თუ $C=1$ მოლი/ლ და $l=1$ სმ, მაშინ $D=E$, ამრიგად, E კოეფიციენტი ისეთი შეფერილი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივეა, რომლის $C=1$ მოლი/ლ, ხოლო $l=1$ სმ. ამ სიდიდეს ხსნარის შთანთქმის მოლურ კოეფიციენტს უწოდებენ. იგი ახასიათებს ფოტომეტრული რეაქციის მგრძნობიარობას და მოცემული შეფერილი ნივთიერებისათვის მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს. მაქსიმუმის უბანში E მნიშვნელობები სხვადასხვა შეფერილი ნივთიერებისათვის ერთმანეთისაგან ძლიერ განსხვავდება.

ხსნარის შთანთქმის მოლური კოეფიციენტი შეიძლება გამოვთვალოთ, თუ მოვამზადებთ ნივთიერებისათვის ცნობილი კონცენტრაციების მქონე ხსნარების სერიას და $l=1$ სმ მქონე კიუვეტში ჩასხმული შეფერილი ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეს გავზომავთ. ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის (ორდინატთა ღერძი) მოლური კონცენტრაციისაგან (აბსცისათა ღერძი) დამოკიდებულების გრაფიკის აგებითა და გრაფიკის ყველა წერტილის შეერთებით მივიღებთ სწორ ხაზს, რომელიც გადის კოორდინატთა ღერძების გადაკვეთის წერტილში. აბსცისათა ღერძთან ხაზის დახრის კუთხის ტანგენსი შთანთქმის მოლურ კოეფიციენტს წარმოადგენს, რაც მეტია დახრის კუთხე, მით უფრო მგრძნობიარეა მოცემული ფოტომეტრული მეთოდი. ვიცით რა შთანთქმის მოლური კოეფიციენტი E, შეიძლება უცნობი (C_x) კონცენტრაციის ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრის შემდეგ ვიპოვოთ C_x შემდეგი თანაფარდობით:

$$C_x = D_x / \epsilon l$$

საკალიბრო მრუდის აგების გარეშე.

ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონი სამართლიანია განზავებული ხსნარებისათვის, ამიტომ მისი გამოყენების არე შეზღუდულია შემდეგი გარემოებების გამო:

1. წყალბად-იონების კონცენტრაციის ცვლილება, რომელიც გავლენას ახდენს დისოციაციაზე, კომპლექსწარმომქმნელზე, ჰიდროლიზზე და სხვა პროცესებზე;

2. ხსნარის გარეშე ელექტროლიტების არსებობა;

3. ხსნარის განზავება

4. ხსნარის ტემპერატურის შეცვლა.

შთანთქმის კანონის დაუცველობის მიზეზი შეიძლება იყოს ქიმიური და ინსტრუმენტული ფაქტორები. პირველი განპირობებულია მშთანთქავი ნივთიერების მონაწილეობით რეაქციებში, რომლებიც კონკურენციას უწევს ანალიზურს. ამრიგად, განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ძირითადი ანალიზური რეაქციის ჩატარების უზრუნველყოფასა და თანაური რეაქციების დახშობას.

როგორც წესი, ფოტომეტრული განსაზღვრის რეკომენდირებული პირობები ოპტიმალურია, ამიტომ განსაზღვრის დროს აუცილებელია მათი მკაცრად დაცვა. ინსტრუმენტული ფაქტორები, რომლებიც განაპირობებს შთანთქმის კანონიდან გადახრას, დაკავშირებულია სხივური ნაკადის არასაკმარის მონოქრომატურობასთან და უმეტეს წილად ფოტოკოლორიმეტრზე მუშაობის დროს მქდავნიდება. ეს იმით აიხსნება, რომ ამ ხელსაწყოში იყენებენ ისეთ შუქფილტრებს, რომლებიც შუქს ატარებს გამოსხივების ტალღათა სიგრძეების საკმაოდ ფართო ინტერვალში. ამ პირობებში, შთანთქმასა და კონცენტრაციას შორის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება ირღვევა. გატარების ნაკლები ზოლის მქონე შუქფილტრების გამოყენებისას, აგრეთვე გამოსხივების მონოქრომატიზაციით უზრუნველყოფილ სპექტრომეტრზე მუშაობისას ეს ეფექტი მნიშვნელოვნად მცირდება ან მთლიანად იხსნება.

შუქფილტრი. ფოტომეტრული განსაზღვრის მგრძნობიარობის და სიზუსტის გაზრდის მიზნით მიზანშეწონილია არა შერეული

(თეთრი) სინათლის შთანთქმის გამოყენება, მხოლოდ იმ სხივების, რომლებიც მაქსიმალურად შთაინთქმევა შეფერილი ხსნარებით, ფოტომეტრიებისას. იმისათვის, რომ მთელი სპექტრის ხილული არიდან გამოვყოთ განსაზღვრული ტალღის სიგრძის სხივები, სინათლის ნაკადის გზაზე, მშთანთქმელი ხსნარის წინ ათავსებენ სინათლის შემრჩევ მშთანთქმელს ე. წ. შუქფილტრს. შუქფილტრები გაატარებენ მხოლოდ განსაზღვრული ინტერვალით გარკვეული ტალღის სიგრძის სინათლეს. რაც უფრო ვიწროა სხივების მაქსიმალური გატარების არე გამოყენებულ შუქფილტრით, მით უფრო მაღალია მისი შერჩევითობა ამ ტალღის სიგრძის სხივებისა ამ ინტერვალში. მეტ-ნაკლებად ეფექტურია ვიწროზოლიანი შუქფილტრები.

ფოტომეტრიებისათვის შუქფილტრების შერჩევა ხდება, განსაზღვრავი ნივთიერების შთანთქმული სპექტრიდან გამომდინარე ისე, რომ შეფერილი ხსნარის მიერ სპექტრული სხივების შთანთქმის მაქსიმუმის არე და შუქფილტრის მიერ მაქსიმალური გატარების არე იყოს ერთნაირი, ე. ი. ხსნარის მიერ შთანთქმის მაქსიმუმში უნდა შეესაბამებოდეს შუქფილტრის მიერ მაქსიმუმ გატარებას (მინიმუმ შთანთქმას.)

შუქფილტრების შერჩევა ხდება საკვლევი ხსნარის შეფერილობის მიხედვით.

ხსნარის ფერი და მათი შესაბამისი შუქფილტრი

ხსნარის შეფერილობა	ხსნარის მიერ სხივების მაქსიმალური შთანქმე (ტალღის სიგრძე-ნმ)	შუქფილტრის შეფერილობა
მოყვითალო-მწვანე	380-450	იისფერი
ყვითელი	450-480	ლურჯი
ნარინჯისფერი	480-490	მომწვანო-ლურჯი
წითელი	490-500	მოლურჯო-მწვანე
მეწამული (მოწისფერი)	500-560	მწვანე
იისფერი	560-575	მოყვითალო-მწვანე
ლურჯი	575-590	ყვითელი
მომწვანო-ლურჯი	590-625	ნარინჯისფერი
მოლურჯო-მწვანე	625-750	წითელი

ფერადი ხსნარების ფოტომეტრირებისათვის შუქფილტრები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ მოთხოვნებს:

1) შუქფილტრების გატარების მაქსიმუმი უნდა შეერიოს ფილტრიდან ფილტრისაკენ სპექტრის მიხედვით, რომელიც მოიცავს მეტ-ნაკლებად ერთნაირ მონაკვეთებს.

2) შუქფილტრებმა მთლიანად უნდა შტანთქან ულტრაიისფერი და ინფრაწითელი სხივები.

3) ამავე დროს შუქფილტრებმა უნდა გაატარონ ტალღის სიგრძის ვიწრო ინტერვალი, რომელთაც აქვთ გატარების კოეფიციენტის მაღალი მაჩვენებელი.

4.4.1 - ელექტრომაგნიტური გამოსხივების შთანთქმა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კორპუსკულარულ-ტალღური ბუნება

სინათლეს და სხვა სახეობების ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას აქვთ ორმაგი ბუნება. ერთის მხრივ ცნობილია ისეთი მოვლენები, როგორიც არის დიფრაქცია, გარდატეხა და სხვა ოპტიკური ეფექტები, რომლებიც შეიძლება აიხსნას მხოლოდ ტალღური თეორიის პოზიციით, მეორეს მხრივ შთანთქმა და გამოსხივების ემისია იმაზე მოწმობს, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივება თავისთავად წარმოადგენს მატერიალური ნაწილაკების ნაკადს, რომლებიც წოდებულია ფოტონებად ან კვანტებად.

თვლიან რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავრცელება სივრცეში დაკავშირებულია ელექტრული და მაგნიტური კომპონენტების პერიოდულ ცვლილებასთან, რომლებმაც შეუძლიათ იმოქმედონ ნივთიერებებზე.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ტალღები ხასიათდებიან ტალღის სიგრძით ან რხევის სიხშირით (რხევის რიცხვი დროის ერთულში), რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია თანაფართო-

ბით.

$$\lambda \nu = c$$

სადაც λ - ტალღის სიგრძეა სმ-ში,

ν - სიხშირე, с^{-1} ,

c - სინათლის სიჩქარე, რომელიც ტოლია $2,998 \cdot 10^{10}$ სმ/с.

ელექტრონების ემისია მეტალის ზედაპირზე მასში ელექტრომაგნიტური გამოსხივების (ფოტოეფექტი) მოქმედებისას აიხსნება გამოსხივების კორპუსკულარული გამოსხივების თეორიის პოზიციით. ითვლება, რომ გამოსხივება - ეს არის ფოტონების ნაკადი, თვითეულის ენერგია რომელიც ტოლია $h\nu$.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრი.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ტალღის სიგრძეს ზომავენ შემდეგ სიდიდეებში:

$$1 \text{ მკნ(მიკრომეტრი)} = 10^{-6} \text{ მეტრი} = 10^{-4} \text{ სანტიმეტრი}$$

$$1 \text{ ნმ(ნანომეტრი)} = 10^{-9} \text{ მეტრი} = 10^{-7} \text{ სანტიმეტრი}$$

$$1 \text{ Å(ანგსტრემი)} = 10^{-10} \text{ მეტრი} = 10^{-8} \text{ სანტიმეტრი}$$

ხილული სინათლე წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, რომელიც შიძლება მიიღოს ადამიანის თვალმა.

ხილული სინათლე არე არ არის დიდი, ის მხოლოდ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრის ნაწილს წარმოადგენს (380-750 ნმ).

ულტრაიისფერი გამოსხივება 10-დან 380 ნმ-მდე არეს მოიცავს, ხოლო ინფრაწითელი - 0,75-დან 380 მკმ-მდე. მაგრამ სპექტრომეტრულ გაზომვას უფრო ხშირად ატარებენ 200-380 ნმ და 2,5 - 25 მკმ არეში.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგია მის სიხშირესთან დაკავშირებულია თანაფარდობით:

$$E = h\nu,$$

სადაც E - ფოტონის ენერგიაა,

ν - სიხშირე, с^{-1} ;

h - პლანკის მუდმივა, ტოლია $6,62 \cdot 10^{-7}$ ერგ. с.

ამ თანაფარდობიდან შეიძლება ვთქვათ, რომ გამოსხივების ენერგია სისტემის პირდაპირპროპორციულია და უკუპროპორციულია ტალღის სიგრძის, რაც გამოსახება

$$\frac{\lambda \text{ იზრდება}}{E \text{ მცირდება}} \longrightarrow$$

შთანთქმის პროცესი. ნივთიერება შთანთქავს მხოლოდ ისეთ გამოსხივებას, რომელიც მოცემული ნივთიერების მოლეკულაში განსაზღვრულ ცვლილებას იწვევს, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ნივთიერება შთანთქავს მხოლოდ განსაზღვრული ენერგიის ან განსაზღვრული ტალღის სიგრძის გამოსხივებას. მოლეკულების ელექტრომაგნიტური გამოსხივება შეიძლება მიმდინარეობდეს მოლეკულის ატომის ირგვლივ მბრუნავი ელექტრონების ენერგიის ცვლილებით (რხევითი გადასვლა) ორი ან მეტი ატომის ატომბირთვის რხევის ცვლილებით, ასევე დიპოლების ბრუნვის ცვლილებით (ბრუნვითი გადასვლა). ელექტრონების აგზნებას გადასვლისათვის სჭირდება გამოსხივების უფრო დიდი ენერგია ვიდრე რხევის და ბრუნვით გადასვლის განხორციელებას, ამიტომ ულტრაიისფერი და ხილული გამოსხივების შთანთქმა მოლეკულაში იწვევენ ელექტრონების გადასვლებს ხოლო ინფრაწითელი და უფრო გრძელტალღური შთანთქმა რხევითს და ბრუნვითს.

ნივთიერების ხსნარის პოლიქრომატის სინათლით დასხივებისას შთაინთქმება მხოლოდ განსაზღვრული ტალღის სიგრძის გამოსხივება, ხოლო სხვა ტალღის სიგრძის სინათლე გაივლის ხსნარში. ხილულ არეში ხსნარის ფერი გამოსხივების ტალღის სიგრძით არის განპირობებული, რომელიც არ შთაინთქმება ამ ხსნარით. უბრალოდ რომ ვთქვათ, ფერს რომელსაც ჩვენ ვხედავთ, წარმოადგენს შთანთქმული სინათლის დამატებით ფერს. მაგალითად ხსნარი, რომელიც შთანთქავს გამოსხივებას სპექტრის ლურჯ არეში ($\approx 475\text{ნმ}$), შეფერილია ყვითლად, ხოლო დამატებით ფერად წარმოადგენს ლურჯი.

ხილული სინათლეს ტალღის სიგრძესთან დამოკიდებულება-ში აქვს შემდეგი შეფერილობა:

შთანთქმის ფერები	ტალღის სიგრძე ნმ.	დაკვირვების შეფერილობა
იისფერი	380-450	მოყვითალო-მომწვანო
ლურჯი	450-495	ყვითელი
მწვანე	495-570	იისფერიდან წითელ-იისფერამდე
ყვითელი	570-590	ლურჯი
ნარინჯისფერი	590-620	მომწვანო-მოლურჯო
წითელი	620-750	მოლურჯო-მწვანე

სპექტრალური ანალიზის ჩატარებისას, ძალიან მნიშვნელოვანია ტალღის სიგრძის ცოდნა მაქსიმალური შთანთქმისათვის. ამ მონაცემებს იღებენ ხსნარის დასხივებისას ერთი სიგრძის ტალღის მიერ გამოსხივებული ნაკადით და ზომავენ დამოკიდებულებას, ხსნარის მიერ შთანთქმულ და ტალღის სიგრძის მიერ გამოსხივებულს შორის, ამას უწოდებენ *შთანთქმის სპექტრს*, ხოლო ხელსაწყოს, რომელიც ასეთი სპექტრების რეგისტრაციას ახდენს - სპექტროფოტომეტრს. ჩვეულებრივად ანალიზის ჩასატარებლად შეარჩევენ ტალღის სიგრძეს იმ სპექტრის არეში, სადაც საკვლევი (გამოსაკვლევი) ნერთები ხასიათდება მაქსიმალური შთანთქმის უნარით, ხოლო სხვა შესაძლებელი მინარევები - მინიმალურით.

ანალიზის კოლორიმეტრულ და სპექტრომეტრულ მეთოდებს საფუძვლად უდევს სინათლის შთანთქმის ბუგერ-ბერა ან ლამბერტის კანონის დებულებები, რომლებსაც ხშირად უწოდებენ უბრალოდ ბერას კანონს, რომელიც შემდეგნაირად გამოითქმება: „ხსნარით შთანთქმული ელექტრომაგნიტური გამოსხივების რაოდენობა, ეკსპონენციალურად დამოკიდებულია ხსნარში მშთანთქმელი ნაწილაკების კონცენტრაციის და მშთანთქმელი ფენის სისქეზე“.

დავუშვათ, რომ სინათლის ნაკადი P ენერგიით ხსნარში გაივლის, რომელიც შეიცავს N შთანთქმულ იონებს ან მოლეკულებს.

შთანთქმული სინათლის რაოდენობა პირდაპირპროპორციულია, სინათლის ნაკადის გზაზე არსებული მშთანთქმელი ნაწილაკების რაოდენობისა. თუ მთელ ხსნარს დავყოფთ მცირე თანატოლ (უღუფებად) მოცულობებად, მაშინ გამოსხივების ენერგიის ცვლილება (ΔP) მოცემულ მოცულობაში დამოკიდებული იქნება მშთანთქმელი ნაწილაკების (ΔN) რიცხვზე, მოცემულ მოცულობაში. ყოველი შემდგომი მოცულობის მიერ გამოსხივებული ნაკადის ენერგია ნაკლები იქნება მის წინა მოცულობის ხსნართან შედარებით. თითოეული მოცულობის მიერ შთანთქმული გამოსხივების რაოდენობა დამოკიდებულია მშთანთქმელი ნაწილაკების რიცხვზე განსახილველ მოცულობაში და პროპორციულია გამოსხივების ენერგიისა ამ მოცულობაში:

$$\Delta P = -kP(\Delta N) \quad (1)$$

$$-\frac{\Delta P}{\Delta N} = kP \quad (2)$$

სადაც K - პროპორციულობის კოეფიციენტი. მინუს ნიშანი მიანიშნებს გამოსხივების ნაკადის ენერგიის შემცირებას.

თუ მოცულობა უსასრულოდ მცირეა, მაშინ (1) ტოლობა შეიძლება ჩავწეროთ დიფერენციალურ ფორმაში:

$$-\frac{dP}{dN} = kP \quad (3)$$

ინტეგრირებული მარცხენა ნაწილის P -დან P_0 -მდე გაყოფის შემდეგ ხოლო მარჯვენა 0 - დან N -მდე.

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -k \int_0^N dN \quad (4)$$

მივიღებთ

$$\ln \frac{P}{P_0} = -kN \quad (5)$$

სადაც N დამოკიდებულია ხსნაში (C) მშთანთქმელი ნაწილაკების კონცენტრაციაზე და მშთანთქმელის ფენის (l) სისქეზე.

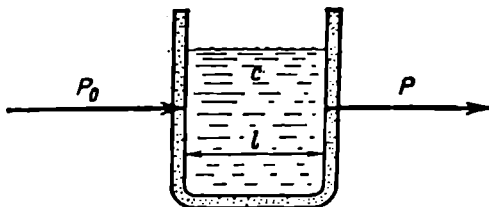
$$N = KlC \quad (6)$$

თუ (5) ტოლობის ნატურალური ლოგარითმს შევცვლით ათო-

ბითზე და ტოლობა (6)-დან ჩავსვამთ N -ის მნიშვნელობას ბერის შემდეგ გამოსახულებას :

$$\lg \frac{P}{P_0} = -\alpha l c \quad (7)$$

სადაც α - პროპორციულობის კოეფიციენტი, წოდებული შთანთქმის კოეფიციენტად, სხვა სიდიდეები გამოსახული (7) მოცემულია ნახაზ 42-ში.



ნახ.42. კოუცტა მზანთქმელი ხსნარით. C - ხსნარის კონცენტრაცია, P_0 - მიწოდებული გამოსხივების ენერგია, l - კოუცტის სისქე ან მზანთქმელი ფენა ჩვეულებრივად სანტიმეტრებში.

გამოსხივების ენერგია რომელიც ეძლევა ხსნარს (P_0) ან ხსნარში გასული (P) , ხასიათდება ფოტონების რიცხვით, რომელიც ხვდება დროის ერთეულში დეტექტორზე.

ბერას კანონი, რომელიც მეტნაკლებათ გავრცელებულია ორი ფორმით შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$-\lg \frac{P}{P_0} = -\alpha l c$$

$$-\lg \frac{P_0}{P} = \alpha l c$$

$$-\lg T = \alpha l c$$

$$(8)$$

$$A = \alpha l c$$

$$(9)$$

$$T = \frac{P}{P_0} \text{ (გამტარიობა)}$$

$$A = \lg \frac{P_0}{P} \text{ (შთანთქმა)}$$

α - წარმოადგენს შთანთქმის კოეფიციენტს (კონსტანტას), მახასიათებელს მოცემული ნაერთების შთანთქმელს და განმსაზღვრელს მოცემული ტალღის სიგრძის დროს. მკაცრად შეიძლება ითქვას, რომ ბერას კანონი სრულდება მხოლოდ მონოქრომატული გამოსხივების დროს. (8) და (9) ტოლობიდან ჩანს განსხვავება შთანთქმასა და გამ-

ტარობას შორის. თუ გამტარობა გამოსახება უბრალო თანაფარდობით P/P_0 , მაშინ შთანთქმა თავისთავად წარმოადგენს შებრუნებული თანაფარდობის P_0/P ლოგარითმს. რამდენადაც შთანთქმის სიდიდე ხაზობრივად კონცენტრაციაზე დამოკიდებული, მას ხშირად იყენებენ განსაზღვრებებისას. კოეფიციენტი α -ს განზომილება დამოკიდებულია ერთეულზე, რომელშიც მშთანთქმელი ხსნარის კონცენტრაციაა გამოსახული. ხშირად კონცენტრაციის გამოსახავად იყენებენ ნივთიერების მილიგრამებს ლიტრ ხსნარში (მგ/ლ). თუ ხსნარის კონცენტრაცია გამოსახულია მოლეზში ლიტრზე, მაშინ ხსნარის შთანთქმის კოეფიციენტი α -ს (ბერა კანონი) გამოსახვა ხდება შთანთქმის მოლური კოეფიციენტით ϵ -ით:

$$-\lg T = \epsilon l c \quad (10)$$

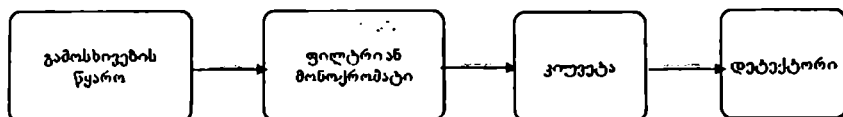
უფრო უკეთესია

$$A = \epsilon l c.$$

აღნიშნული ფორმულებში: P_0 - მიწოდებული გამოსხივების ენერგია; P - გატარებული გამოსხივების ენერგია; A - შთანთქმა; T - გამტარებლობა (გამჭირვალობა); α - შთანთქმის კოეფიციენტი; ϵ - შთანთქმელი მოლური კოეფიციენტი. L - მშთანთქმელი ფენის სისქე. D - ოპტიკური სიმკვრივე.

4.4.2. შთანთქმის გაზომვა

გაზომვის პრინციპი. ხელსაწყოები, რომლებიც გამოიყენება შთანთქმის გასაზომად, შედგება ოთხი ძირითადი ნაწილისაგან, რომელიც წარმოდგენილია ბლოკსქემით:



ხელსაწყოს კონსტრუქცია დამოკიდებულია იმაზე, თუ სპექტრის რომელ არეში (ულტრაიისფერ, ხილულ ან ინფრაწითელ) ატარებენ გაზომვას.

ჩვეულებრივ ანალიზის ჩასატარებლად შეარჩევენ გამოსხივების ტალღის სიგრძის იმ არეს, სადაც განსასაზღვრავ ნაერთებს აქვს მაქსიმალური შთანთქმის უნარი, ხოლო სხვა ნივთიერებებს მინიმალური, გამოსხივების ინტენსივობა რომელიც გაივლის სინჯში, რეგულირდება ხვრელის (ჭვრიტე) სიგრძით ან სხვა რომელიმე საშუალებით. საკვლევ ნივთიერების ხსნარს ათავსებენ მინის ან კვარცის კიუვეტაში. (თუ განსაზღვრა მიმდინარეობს ულტრაიისფერ არეში, იყენებენ მხოლოდ კვარცის კიუვეტს). გაივლის რა კიუვეტს ხსნარით სხივი ხვდება ფოტოელემენტზე, სადაც გამოსხივების ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულში.

ელექტროდენის გაძლიერება ფიქსირდება (რეგისტრირდება) ხელსაწყოს მეშვეობით, რომლის სკალა გრადუირებულია შთანთქმის ან გამტარებლობის ერთეულში. ფოტოკოლორიმეტრებში და სპექტროფოტომეტრებში ამ სკალას უწოდებენ ათვლის სკალას. სკალაზე ათვლილი თავისთავად წარმოადგენს გამოსხივების ენერგიის P და P_0 - ის ფარდობას, რადგან ამ სიდიდეების აბსოლიტურ სიდიდეებს თან ახლავს დიდი სიძნელებები. რადგანაც მაგალითად გამოსხივება ხშირად აისახება და შესაძლებელია შთანთქმა მოხდეს კიუვეტის კედლებით, უფრო მარტივია გაიზომოს თანაფარდობა P/P_0 ან P_0/P (გავიხსენოთ P/P_0 - გამტარებლობაა, ხოლო $\lg(P_0/P)$ - შთანთქმა), სიდიდეების განსაზღვრის მიზნით:

1. ათავსებენ ხელსაწყოში ნიმუშს, რომელიც არ ატარებს გამოსხივებას (შავ სხეულს) და ათვლის სკალას აყენებენ შესაბამის 0%- გამტარებლობის სიდიდეზე ან უსასრულო შთანთქმამდე.
2. კიუვეტში ატავსებენ სუფთა გამხსნელს ჭვრიტეს (ხვრელს) განის ცვლილებით (ან რომელიმე სხვა სახით), მიიღებენ ინტენსიურ გამოსხივებას, რომელსაც შეესაბამება 100%-იანი შთანთქმა ან 0%-იანი შთანთქმა. სკალაზე გამტარებლობის 100 მნიშვნელობას შეე-

საბამება გამოსხივების ენერგია P_0 .

3. კიუვეტში ათვისებენ ნიმუშის შეფერილ ხსნარს და მუდმივი სიგანის ხვრელით (ჭვრიტე) ათვლის სკალაზე განსაზღვრავენ გამტარებლობის პროცენტს ან შთანთქმას. სკალაზე გამტარებლობის მაჩვენებელი წარმოადგენს ნიმუშში გატარებული გამოსხივების ენერგიის კემშარიტ სიდიდეს P , დამოკიდებულების (ფარდობას) P_0 -ის მნიშვნელობასთან, რომელიც ტოლია 100-ის:

$$T = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{100}; \quad T\% = 100 T = P;$$

გამტარებლობის სკალა ხაზობრივია, შთანთქმის სკალა ლოგარითმულია, ამიტომ შთანთქმის სკალაზე იღებენ A -ს მნიშვნელობას.

შთანთქმის ინფრაწითელი სპექტრების მიღება ხდება სპექტრომეტრების და სპექტროფოტომეტრების, ხოლო კომბინაციური გაბნევის სპექტრებისა სპექტროგრაფების და სპექტრომეტრების დახმარებით.

სპექტროგრაფებში მიმღებ ელემენტს წარმოადგენს ფოტოფირფიტა და ამიტომ ისინი ძალზე მოუხერხებელია რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის. გარდა ამისა მათ გააჩნიათ მთელი რიგი ნაკლოვანებები. სპექტრომეტრებით ხდება მონოქრომატოდან გამოსული სინათლის ნაკადის რეგისტრირება. ე.წ. სითბური მიმღების საშუალებით - თერმოელემენტი, ბალომეტრით ან ოპტიკურ-აკუსტიკური მიმღებით. სპექტროფოტომეტრები განსხვავდება სპექტრომეტრებისაგან იმით, რომ მათი საშუალებით შეიძლება სპექტრის რეგისტრირება შთანთქმის ან გაშვების (გამტარებლობის) პროცენტებში გამოსახვით. სპექტრომეტრის და სპექტროფოტომეტრის საფუძველს წარმოადგენს მონოქრომატორი, რომელიც შედგება შესასვლელი ხვრელი, მაღისპირებული ელემენტის (პრიზმები ან სადიფრაქციო ბადე), გამოსასვლელი ხვრელისაგან და მაფოკუსირებელი სარკეებისა და ლინზებისაგან. მონოქრომატორის შესასვლელი ხვრელის დახმარებით ხდება შეშვება, რომელსაც მაღისპერსირებული ელემენტი ტალღის სიგრძის მიხედვით გაშლის, ხოლო გამომავალი ხვრელი კი

აქედან სინათლის ვიწრო ლენტს ამოჭრის, რომელიც ფოკუსირდება მიმღებზე. ამჟამად მოქმედებაშია სპექტრომეტრები, რომლებიც მუშობენ ე.წ. ორმხრივიანი სქემით ასეთი ხელსაწყოებია რუსეთის მიერ წარმოებული სხვადასხვა მარკის „ИКС“ გერმანული წარმოების „UR-10“, „UR-20“, ინგლისური „Perkin-elmeZ“(პერკენ ელმერი) ფირმის სპექტრომეტრები.

4.4.3. ფოტოკოლორიმეტრი

ფოტოკოლორიმეტრები ხელსაწყოებია, რომლებიც ფოტოელექტრული მეთოდებით ზომავენ შთანთქმულ და გატარებულ სიდიდეებს. ნივთიერებათა კონცენტრაციის განსაზღვრის ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდები დაფუძნებულია შთანთქმული ან გატარებული სინათლის შედარებაზე, სტანდარტულ და შეფერილ საკვლევ ხსნარში ; ვიზუალური მეთოდისაგან განსხვავებით შეფერილი ხსნარის მიერ სინათლის შთანთქმის ხარისხი განისაზღვრება არა თვალით, არამედ სპეციალური ოპტიკური ხელსაწყოებით –კოლორიმეტრებით ფოტოელემენტით (ფოტოლორიმეტრი). ფოტოკოლორიმეტრში შეფერვის ინტენსივობას საზღვრავენ ფოტოელემენტის საშუალებით, რომელიც სინათლის ენერგიას გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად. ფოტოელემენტი დაფუძნებულია ფოტოეფექტის მოვლენაზე. ფოტოელემენტზე მოხვედრისას სინათლის ნაკადი აღაგზნებს მას და წარმოქმნის ელექტრულ დენს, რომელიც რეგისტრირდება წრედში ჩართული მგრძნობიარე გალვანომეტრით; მისი ისრის გადახრა ფოტოელემენტის განათების პროპორციულია.

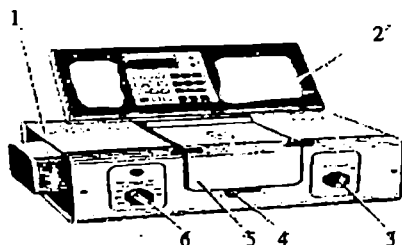
თითოეულ ნივთიერებას აქვს სინათლის განსაზღვრული ტალღის სიგრძე (ან რხევის სიხშირე), რომელსაც ფოტოეფექტის ზღურბლს უწოდებენ, რომლის დროსაც იწყება ფოტოეფექტის დაფიქსირდება (ან გაქრობა). გამჭოლი ფოტოდენის ძალა დამოკიდებულია ფოტოელემენტზე დაცემული სინათლის ტალღის სიგრძესა

და ტემპერატურაზე. სტოლექტოვის კანონის მიხედვით ფოტოდენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ფოტოელემენტზე დაცემული მო-
ნოქრომატული სინათლის კონის ინტენსივობისა.

თანამედროვე ფოტოელექტროკოლორიმეტრი წარმოადგენს ორ არხიან სისტემას ორი ფოტოელემენტით, რომლებსაც აქვთ ერთნაი-
რი პრინციპული სქემა.

ფოტოკოლორიმეტრის მუშაობა დამყარებულია სინათლის ორი
ნაკადის გათანაბრების პრინციპზე, რომელთაგან ერთი გაივლის
საკვლევი ხსნარის შემცველ კიუვეტს, ხოლო მეორე – სუფთა გამ-
ხსნელიანს.

ხელსაწყოების კონსტრუქცია ითვალისწინებს სინათლის ორი
ნაკადის ინტენსიურობის გათანაბრებას მარეგულირებელი დიაფ-
რაგმის საშუალებით. ორივე ფოტოელემენტის ერთნაირი განათებუ-
ლობის დროს მათი დენები გალვანომეტრის წრედში ურთიერთკომ-
პენსირებულია და გალვანომეტრის ისარი უჩვენებს ნულს. შეფერი-
ლი ხსნარის შემცველი კიუვეტით ერთ-ერთი ფოტოელემენტის ჩაბ-
ნელების დროს გალვანომეტრის ისარი გადაიხრება ხსნარის კონცენ-
ტრაციის პროპორციული სიდიდით. გალვანომეტრის ისრის ნუ-
ლოვანი მდგომარეობა აღდგენა გრადუირებული დიაგრამით მეორე
ფოტოელემენტის ჩაბნელების გზით.



ნახ.43. კოლორიმეტრი ფოტოელექტრული კონცენტრაციული 7Ф7-2МП.

1. კოლორიმეტრული ზლოკი 2. გამოთვლითი ზლოკი 3. ფოტომიმდების
გადამრთველი 4. კიუვეტების გადამრთველი 5. კიუვეტების განყოფი-
ლების ხუფი 6. შუქფილტრების გადამრთველი.

ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის ზომავენ საკვლევი ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივესა ($D_{\text{სკ}}$) და სტანდარტული ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს ($D_{\text{სტ}}$).

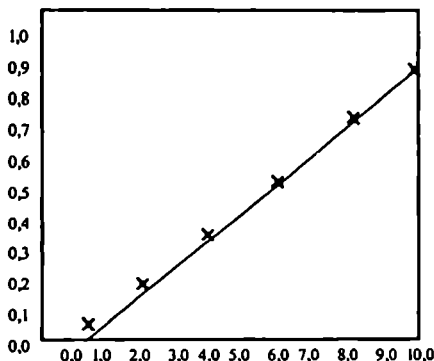
ამ სიდიდეებსა და ხსნარების კონცენტრაციებს შორის შემდეგი თანაფარდობა არსებობს:

$$C_{\text{სკ}}/C_{\text{სტ}} = D_{\text{სკ}}/D_{\text{სტ}}$$

აქედან საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_{\text{სკ}} = C_{\text{სტ}} \cdot D_{\text{სკ}}/D_{\text{სტ}}$$

მასობრივი ფოტოკოლორიმეტრული გაზომვების დროს საკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის სარგებლობენ საკალიბრო მრუდით, რომელსაც იყენებენ ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის მიხედვით კონცენტრაციის გრაფიკული ხერხით პოვნისათვის.



ნახ.44. საკალიბრო მრუდი

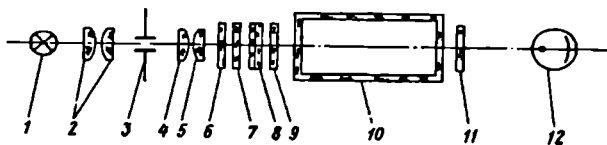
საკალიბრო მრუდის აგება. საკალიბრო მრუდის (გრაფიკის) ასაგებად ზომავენ რამდენიმე ცნობილი, მაგრამ სხვადასხვა კონცენტრაციის მქონე, შეფერილი ხსნარის შთანთქმას. ამ მიზნით იყენებენ განსასაზღვრავი ნივთიერების განზავებულ სტანდარტულ ხსნარს. გულმოდგინეთ ზომავენ პიპეტით ამ ხსნარის ალიკვატურ ნაწილს, უმატებენ მას რეაგენტს და ქმნიან შეფერილობის მაქსიმალურ პირობებს. ამის შემდეგ ცალკეულ ხსნარს ანზავებენ საზომ კოლბაში

განსაზღვრულ მოცულობამდე და ზომავენ შერჩეული ტალღის სიგრძის შთანთქმას. შთანთქმის დამოკიდებულების გრაფიკი მშთანთქმელი ნივთიერების კონცენტრაციასთან წარმოადგენს სწორ ხაზს, რომლის დახრის კუთხის ტანგენსი ტოლია შთანთქმის (α) კოეფიციენტის, ან შთანთქმის (E) მოლური კოეფიციენტის. ამ გრაფიკს იყენებენ რეალური ნიმუშის ანალიზისათვის

საკალიბრო გრაფიკის აგებისას, ყურადღება უნდა მიექცეს სტანდარტული ხსნარების დამზადებას და სწორად გამოყენებას. ლითონთა ხსნარები ხშირად მდგრადი არიან მხოლოდ მუავების დამატებისას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ძალიან განზავებულ ხსნარებში შესაძლებელია ლითონების ჰიდროლიზი მყარი ნაწილაკების წარმოქმნით, რომლებიც ცვლიან ლითონის კონცენტრაციას საანალიზო ხსნარში. ეს მყარი ნაწილაკები თავისი სიდიდით შეიძლება იყოს იმდენად მცირე ზომის, რომ ანალიტიკოსისათვის მათი არსებობა დარჩეს შეუმჩნეველი.

ფოტოკოლორიმეტრის ოპტიკური სქემა

გახურებული ნათურის სინათლე 1 კონდენსორი 2 გამოსახება დიაფრაგმის 3 სიბრტყეზე (ნახ.45) ობიექტებით 4; 5 ეს გამოსახულება გადაიტანება სიბრტყეში. რომელიც დაყენებულია ობიექტივიდან 300მმ-ის დაშორებით. კიუვეტა 10 საკვლევი ხსნარით შეგვყავს სინათლის კონაში დამცავი მინების 9; 10-ს შორის. ნათურის გამოსხივების ფართო სპექტრიდან, სპექტრის ვიწრო უბნის გამოსაყოფად გათვალისწინებულია ფერადი შუქფილტრები 8. სითბოდამცავი შუქფილტრი 6 შეჰყავთ სინათლის ნაკადში მუშაობის დროს ხილული სპექტრის არეში (400-490 ნმ) მუშაობის სინათლის ნაკადის შესუსტების მიზნით. სპექტრალურ დიაპაზონში 400-500ნმ დაყენებულია ნეიტრალური შუქფილტრები 7. სინათლის ნაკადი, რომელიც გაივლის შუქფილტრებს და კიუვეტს, ხვდება ფოტოელემენტ 12-ზე და ადაზნებს დენს, რომელიც რეაგირებს მიკროამპერმეტრზე.



ნახ.45. კოლორიმეტრი ფოტოელექტრული კონცენტრაციული
KFK-2MII ოპტიკური სქემა

კოლორიმეტრის მუშაობის პრინციპი. ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია დენის ძალის რეგისტრაციაზე. რომელიც წარმოიქმნება ფოტოელემენტზე. დენის ძალა დამოკიდებულია ხსნარის შეფერილობის ინტენსივობაზე, რადგან რაც დიდია შეღებილი ნივთიერების ან კომპონენტის კონცენტრაცია ხსნარში, მით მეტია სინათლის შთანთქმა და მცირეა სინათლის ნაკადის ინტენსივობა, ხსნარიდან და შესაბამისად გამჭოლი ფოტოდენიც. შესაბამისად დენის დანაკარგის აღრიცხვა, რომელიც კიუვეტის კედლებით აისახება და მისი შთანთქმა გამხსნელით ყოველთვის იზომება გამხსნელის (წყლის) «ნულოვანი» თანაფარდობით.

კოლორიმეტრის მუშაობის მეთოდიკა. ფოტოკოლორიმეტრზე სამუშაოს დაწყებამდე 15 წუთით ადრე ჩართავენ ელექტროქსელში. ადებენ კიუვეტების განყოფილების ხუფს 5 (ნახ. 2) ამავე დროს შტორით გადაკეტავენ სინათლის ნაკადს, ფოტოელემენტის წინ. აყენებენ წინასწარ შერჩულ შუქფილტრს სახელურით 6. კოლორიმეტრის მინიმალურ მგრძნობელობაზე. ამისათვის სახელურს 3 გადართავენ მდგომარეობა «ზუსტი». ათვისებენ საკიუვეტე განყოფილებაში ორ კიუვეტას: ერთს წყლით, მეორეს შეფერილი ხსნარით (საკვლევი ან სტანდარტულით).

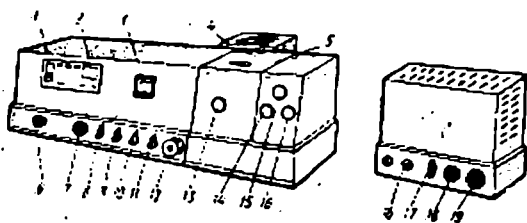
თავდაპირველად სახელურით 4 ათვისებენ კიუვეტას წყლით, ადებენ სინათლის ნაკადს. დაახურავენ კიუვეტების განყოფილების ხუფს და აყენებენ სახელურს «უხეშ» გასწორების მიმართილებით, შემდეგ «ზუსტ»-ზე ნულოვან მაჩვენებელზე. შემდეგ კი ზომავენ საკვლევ ხსნარს. გაზომვას აწარმოებენ 4-5 ჯერ და საბოლოო მნიშვნელობას განსაზღვრავენ საშუალო არითმეტიკულით.

4.4.2. სპექტროფოტომეტრია

სპექტროფოტომეტრულ ანალიზს ატარებენ მონოქრომატული გამოსხივების გამოყენებით სპექტრის როგორც ხილულ, ასევე მასთან მიმდებარე ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ უბნებში. სპექტროფოტომეტრიაში გამოყენებული ხელსაწყოები უფრო რთულია, ვიდრე ფოტოკოლორიმეტრიაში.

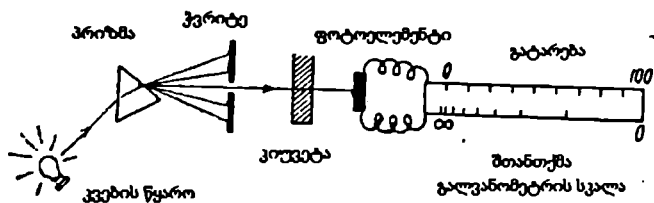
ისინი შეიცავს მონოქრომატორს – მონოქრომატული სინათლის მისაღებად და ფოტომეტრის ოპტიკური სიმკვრივის გასაზომად.

არსებობს სხვადასხვა სახეობის სპექტროფოტომეტრები. მარტივი სპექტროფოტომეტრები გამოიყენება მხოლოდ ხილულ არეში სამუშაოდ. ასეთ სპექტროფოტომეტრებში გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს ვოლფრამის ნათურა, ოპტიკურ ნაწილს კი მინის ოპტიკა. მისი მუშაობის დიაპაზონი 380-დან 750 ნმ ტალღის სიგრძეა. სპექტროფოტომეტრების უდიდესი ნაწილის დანიშნულებაა იმუშაონ ულტრაიისფერ არეში. სპექტროფოტომეტრები რომელთა დანიშნულება იმუშაონ ხილულ, ულტრაიისფერ არეში, ხასიათდებიან ერთნაირი სქემით.



ნახ.46. სპექტროფოტომეტრი CМ-16

ა-სპექტროფოტომეტრი; ბ- სტაბილიზატორი. 1. ტალღის სიგრძის სკალა 2. ათვლის პოტენციომეტრის სკალა 3. მიკროამპერმეტრი 4. გამნათებელი 5. კიუვეტების კამერა 6. ტალღის სიგრძის სკალის სახელური 7. ათვლის პოტენციომეტრის სახელური 8. გაზომვის ზღვრების გადართვის სახელური 9. ფონური დენის კომპენსაციის სახელური 10. მგრძნობიარობის საფეხურებრივი შეცვლის სახელური 11. მგრძნობიარობის მდოვრე შეცვლის სახელური 12. ჭვრიტეს სიგანის რეგულირების მიკრომეტრული ბრახნის სახელური 13. ფოტოელემენტის ჩართვის სახელური 14. ფარდის გადართვის სახელური 15. ფონური დენის ზუსტი კომპენსაციის სახელური 16. გამოსხივების წყაროს ქსელის ჩართვის სახელური 17. სტაბილიზატორის მუშაობის რეჟიმის შეცვლის სახელური 19. ვარვარის დენის რეგულირების სახელური 19. მაღალი ძაბვის ჩართვის დილაკი.



ნახ.47. სპექტროფოტომეტრის სქემა

1.სინათლის წყარო 2. პრიზმა 3. ჭერიტი 4. კოეფიტი 5. ფოტოელემენტი
6. გალვანომეტრის სკალა: გატარება%, შთანთქმა.

მონოქრომატული გამოსხივება ფოტოელემენტის კათოდზე მოხვედრისას იწვევს ელექტრონების ემისიას, რომლებიც მიიზიდება ანოდით. ასეთი გზით წარმოქმნილი ფოტოდენი იწვევს ძაბვის ვარდნას. ვინაიდან ფოტოდენი პროპორციულია გამოსხივების ინტენსიურობისა, ამიტომ ძაბვის ვარდნაც ამ სიდიდის პროპორციული იქნება. იმისათვის, რომ გაიზომოს ძაბვის ვარდნა, ფოტოდენს აძლიერებენ და კომპენსაციური მეთოდით ზომავენ. ასეთ შემთხვევაში ათვლითი პოტენციომეტრიდან მიეწოდება პოტენციალი, რომელიც გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე არსებული პოტენციალის ტოლია, მაგრამ საპირისპირო ნიშნისაა. მაკონპენსირებელ ძაბვასა და ფოტოდენს შორის პირდაპირი დამოკიდებულება საშუალებას იძლევა ათვლის პოტენციომეტრის სკალის გრადუირება მოვახდინოთ ოპტიკური სიმკვრივისა და გატარების ერთეულებში.

ხშირად სპექტროფოტომეტრებს გამოიყენებენ შთანთქმის ან გატარების რაოდენობრივი განსაზღვრისა და შეფერილი ნივთიერებების შთანთქმის სპექტრების გადაღებას. ყოველ შეფერილ ხსნარს აქვს მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი შთანთქმის სპექტრი, ამიტომ ასეთ სპექტრებს გამოიყენებენ ნივთიერებათა თვისებებით იდენტიფიკაციისა და ტალღის სიგრძის ასარჩევად სპექტროფოტომეტრული გაზომვებისათვის. შთანთქმითი სპექტრის მისაღებად, შეფერილ ხსნარს სპექტროფოტომეტრში და 380 ნმ ტალღის სიგრძეზე ზომავენ შთანთქმას. შემდეგ ზრდიან ტალღის სიგრძეს 10-20 ნმ-

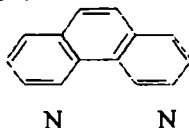
ით, საზღვრავენ შთანთქმის მთელ ხილულ ტალღის სიგრძის სპექტრში. რამდენადაც გამოსხივების ინტენსივობა, რომელსაც წყარო წარმოქმნის და ფოტოელემენტის მგრძნობიარობა დამოკიდებულია გამოსხივების ტალღის სიგრძეზე, ამიტომ ყოველი ცვლილების დროს ახდენენ ხელსაწყოს დარეგულირებას. შეფერილი ნივთიერების შთანთქმას ზომავენ თითოეულ ტალღის სიგრძეზე და მიღებულ მნიშვნელობას გადაიტანენ შთანთქმის, ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკზე. ნაპოვნი წერტილებით ააგებენ შთანთქმის სპექტრს. ზოგიერთ სპექტროფოტომეტრებზე, რომლებსაც მარეგისტრირებელს უწოდებენ, შთანთქმის სპექტრის ჩაწერა მიმდინარეობს ავტომატურად.

რამდენადაც მინა შთანთქმავს ულტრაიისფერ გამოსხივებას, ულტრაიისფერ უბანში სამუშაოდ გამოიყენება სპექტროფოტომეტრები, რომელთა ოპტიკური სისტემა და კიუვეტები დამზადებულია კვარცისაგან, დეტექტორის სახით კი ხანდახან გამოიყენებენ ფოტოელემენტს. ინფრაწითელი (ИК) სპექტროფოტომეტრებს აქვთ ისეთი ოპტიკური სისტემა, როგორც ხილულ და ულტრაიისფერ სპექტრების არეში მომუშავე სპექტროფოტომეტრებს, მხოლოდ გამოსხივების წყაროს მასალები, რომლისგანაჟც მზადდება ოპტიკური სისტემის კვანძები კიუვეტები და ასევე დეტექტორი ამ ხელსაწყოებში არის განსხვავებული.

კოლორიმეტრული განსაზღვრის მაგალითები:

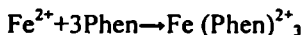
რკინის განსაზღვრა. რკინის კოლომეტრული განსაზღვრა დაფუძნებულია რეაქციებზე, რომელიც Fe(II) ორგანულ რეაგენტ 1,10-ფენანტროლინთან წითელი ფერის კომპლექსნაერთს წარმოადგენს. ამ რეაგენტის ემპირიული ფორმულაა: $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2$.

სტრუქტურული ფორმულა:



წარმოქმნილ კომპლექსში ერთ იონ რკინაზე მოდის სამი მოლე-

კულა 1,10-ფენანტროლინი.



ფენანტროლინის აზოტი თითოეულ ატომ $\text{Fe}(\text{II})$ -თან წარმოქმნის კოვალენტურ კოორდინაციულ ბმას, სულ ასეთი ბმა კომპლექსში არის ექვსი. კომპლექსური ნაერთების ნომენკლატურის შესაბამისად უწოდებენ ტრი-(1,10 ფენანტროლინი) რკინა (II).

ზოგიერთი სხვა ლითონებიც ასევე წარმოქმნიან ნაერთებს 1,10-ფენანტროლინთან, მაგრამ ამ კომპლექსებს არა აქვთ ისეთი ინტენსიური შეფერილობა, როგორც რკინის კომპლექსს. რკინის განსაზღვრის ხელშემშლელი არიან ვერცხლი (I), კობალტ (II), სპილენძი (II) და ნიკელ (II).

განსაზღვრის დროს ჯერ რკინას აღადგენენ –რკინა (II)-მდე, ისეთი აღმდგენელების მოქმედებით, როგორც არის ჰიდროქსილამინის ქლორიდი ან ასკორბინის მჟავა, შემდეგ ნაჯერობით (ჭარბად) უმატებენ 1,10- ფენანტროლინს და აცეტატურ ბუფერს, რათა შექმნან pH -ის საჭირო მნიშვნელობა. ამ ოპერაციას აქვს დიდი მნიშვნელობა, რამდენადაც კომპლექსი წარმოიქმნება მხოლოდ pH -ის განსაზღვრულ არეში. საბოლოო სტადიას წარმოადგენს ხსნარის განზავება და მისი შთანთქმის გაზომვა ფოტოკოლორიმეტრზე ან სპექტროფოტომეტრზე (512 ნმ-ტალღის სიგრძე).

ტურბიდიმეტრია და ნეფელომეტრია. ტურბიდიმეტრია დამყარებულია სინათლის ინტენსიურობის გაზომვაზე, რომელიც შთაინთქმება მყარი ნივთიერების შეუფარავი სუსპენზიით. ტურბიდიმეტრიაში ხსნარის მიერ შთანთქმული ან მასში გასული სინათლის ინტენსიურობის იმგვარადვე ზომავენ, როგორც შეფერილი ხსნარებისას ფოტოკოლორიმეტრიაში.

ნეფელომეტრია დამყარებულია სინათლის ინტენსიურობის გაზომვაზე, რომელიც არეკლილი ან გაბნეულია მყარი ნივთიერების შეფერილი ან შეუფარავი სუსპენზიით. ორივე მეთოდში ნივთიერების რაოდენობითი განსაზღვრა ხდება ხსნარის სიმღვრივის ხარისხის მიხედვით სინათლის გავლის დროს დისპერსიულ ჰეტეროგე-

ნულ სისტემაში, რომელსაც წარმოქმნის მცირედ ხსნადი ნივთიერების შეტივტივებული ნაწილაკები. სინათლის ნაკადი სუსტდება მისი დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების მიერ გაბნევის ან შთანთქმის შედეგად. ეს მოვლენა გამოყენებულია ტურბიდიმეტრულ და ნეფელომეტრულ მეთოდებში მცირედხსნადი ნივთიერებების თვისებითი და რაოდენობითი შეფასებისათვის. ტურბიდიმეტრული განსაზღვრების დროს ზომავენ სინათლის ინტენსიურობას, რომელიც კიუვეტიდან გამოდის სინათლის ვარდნილი კონის მიმართულებით. ანალიზის ნეფელომეტრულ მეთოდში სინათლის ნაკადის ინტენსიურობა მცირდება სინათლის ნაკადის შთანთქმისა და გაბნევის შედეგად. ორივე მეთოდში ფოტოელექტროკოლორიმეტრები გამოიყენება. განსაზღვრის დროს აუცილებელია შემდეგი პირობების დაცვა: 1) ტივტივარის წარმომქმნელი ნივთიერებების ხსნადობა ძალიან მცირე უნდა იყოს; 2) ტივტივარი უნდა იყოს სტაბილური და დაყოვნებისას ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არ უნდა ილექებოდეს; 3) საკვლევი და სტანდარტული ნივთიერებების ტივტივარი უნდა მზადდებოდეს ერთდროულად და ერთი და იმავე მეთოდით, რათა მივიღოთ ერთნაირი ზომის ნაწილაკები; 4) განსაზღვრის ხანგრძლივობა 15 წუთს არ უნდა აღემატებოდეს.

სპილენძის(II) განსაზღვრა სპილენძის სულფატის ხსნარში ფოტოკოლორიმეტრით

სპილენძის(II) განსაზღვრის სპილენძის სულფატში CuSO_4 უფრო ხშირად ატარებენ ამიაკური მეთოდით. ეს მეთოდი დაფუძნებულია Cu^{2+} -ის ამიაკის ნაჯერ ხსნარის ურთიერთმოქმედების რეაქციაზე:



კომპლექსურ იონს $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ აქვს ინტენსიური ლურჯი ფერი. განსაზღვრა მიმდინარეობს შემდეგი სქემით:

1. ამზადებენ სტანდარტული ხსნარების სერიას.

2. შეარჩევენ კიუვეტებს და შუქფილტრებს.
3. ზომავენ ყველა სტანდარტული ხსნარის აბსორბციას.
4. აგებენ გრადუირების გრაფიკს.
5. ზომავენ საკვლევი ხსნარის აბსორბციას.
6. მოამზადებენ საკვლევ (ხსნარს).
7. აგებულ გრადუირებულ გრაფიკზე ნახულობენ Cu(II) -ის შემცველობას საკვლევ ხსნარში.

სტანდარტული ხსნარების მოსამზადებლად, ამზადებენ Cu(II) სულფატის ეტალონის ხსნარს. ამისათვის ანალიზურ სასწორზე აწონიან 3,9270 გ ქიმიურად სუფთა სპილენძის სულფატის $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. წონაკი გადააქვთ 1000 მლ საზომ კოლბაში და ხსნიან გამოხდილ წყალში, უმატებენ 5,0 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას ($\rho=1,84$ გ/სმ³) და მიჰყავთ დისტილირებული წყლით ნიშანხაზამდე. დამზადებულ ხსნარის 1 მლ (სმ³) შეიცავს 1მგ Cu^{2+} .

გრადუირებული გრაფიკის ასაგებად ამზადებენ სტანდარტულ ხსნარებს. თავდაპირველად ამზადებენ მაქსიმალური კონცენტრაციის ხსნარს. ამისათვის 50 მლ საზომ კოლბაში პიპეტით იღებენ 25 მლ ეტალონის ხსნარს, უმატებენ 10 მლ განზავებულ (1:3) $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ხსნარს და გამოხდილი წყლით მიყავთ ნიშანხაზამდე. გულდასმით ურევენ და გადაასხამენ ჭიქაში ან კონუსურ კოლბაში. ამიტომ ხსნარს შეარჩევენ სამუშაო პირობებში. შემდეგ იმავე საზომ კოლბაში ამზადებენ დანარჩენი სტანდარტულ, ხსნარებს, შესაბამისად პიპეტით იღებენ 20,0; 15,0; 10,0; 5,0; 2,5 მლ (სმ³) ეტალონურ ხსნარს და 10-10 მლ (1:3) განზავებულ ამიაკის ხსნარს. თვითოეული ხსნარის აბსორციულობა ზომავენ ფოტოელექტროკოლორიმეტრით 4-5-ჯერ და აგებენ გრადუირებულ გრაფიკს. ამის შემდეგ იმავე პირობებში ზომავენ საკვლევი (საანალიზო) ხსნარის აბსორბციას 4-5-ჯერ და გამოითვლიან საშუალო მნიშვნელობას. აგებული გრაფიკის მეშვეობით განსაზღვრავენ საკვლევი ხსნარის კონცენტრაციას.

საკონტროლო კითხვები:

1. განმარტეთ ექსტრაქციის არსი.
2. რა მეთოდებით ხდება ექსტრაქციაში ელემენტების საბოლოო განსაზღვრა?
3. რაში მდგომარეობს ქრომატოგრაფიის არსი?
4. რომელი ქრომატოგრაფიული მეთოდებია თქვენთვის ცნობილი?
5. როგორია აირ-ქრომატოგრაფიის მეთოდის პრინციპული სქემა?
6. ჩამოთვალეთ ძირითადი ელექტროქიმიური მეთოდები.
7. რა არის და როგორ მუშაობს იონსელექციური ელექტროლიტები?
8. რაში მდგომარეობს პოლაროგრაფიის მეთოდის არსი?
9. რაში მდგომარეობს ფოტომეტრული მეთოდის არსი?
10. როგორი სახე აქვს ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონის ტოლობას?

4.5. ფოტომეტრული გაზომვების მაგალითები

Cr-ის განსაზღვრა დიფენილკარბაზიდით
(ფოტომეტრული მეთოდი).

მეთოდი გამოიყენება მიწისზედა და მიწისქვეშა წყლების ანალიზისათვის, რომლებიც შეიცავენ Cr (VI) 1-დან 200 მკგ-მდე ლიტრში. ოპტიკური სიმკვრივე იზომება: ტალღის სიგრძე – 540 ნანომეტრი. შუქფილტრი მწვანე.

მეთოდი დაფუძნებულია სუსტმჟავა ხსნარში Cr (VI)-ის ურთიერთმოქმედებაზე დიფენილკარბაზიდთან, რომლის შედეგად წარმოიქმნება მოწითალო-იისფერი შეფერილობის ხსნადი კომპლექსურ ნაერთები.

განსაზღვრის მსვლელობა. 40 მლ საკვლევ ხსნარს (სინჯს), ათავსებენ 100 მლ კონუსურ კოლბაში, დაუმატებენ 2 მლ H_2SO_4 (1:1), 1 მლ Na_2SO_3 -ის ხსნარს და აყოვნებენ 10 წუთს. შემდეგ კოლბას თავზე დაუცობენ საცობ-მაცივარს და კოლბას აცხელებენ აირების

გამოყოფამდე და კვლავ აყოვნებენ 10 წუთს. გაცივებული ხსნარი გადააქვთ 50 მლ-იან საზომ კოლბაში. უმატებენ NH_4OH (1:1) განეიტრალეზამდე და უმატებენ დისტილირებულ წყალს ნიშან-ხაზამდე. ე.ი. ავსებენ 50 მლ-მდე. შემდეგ უმატებენ 0,15 მლ ფოსფორმჟავას ხსნარს, ინტენსიურად მოურევინ და უმატებენ 2,5 მლ დიფენილკარბაზიდის ხსნარს და კვლავ მოურევინ. 15 წუთის შემდეგ ზომავენ ხსნარის სიმკვრივეს, სპექტროფოტომეტრზე ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე. მწვანე შუქფილტრზე ტალღის სიგრძე $\lambda=540$ ნმ კიუვეტით, რომლის სისქეა 5 სმ. მეორე ამავე სისქის კიუვეტში ასხამენ დისტილირებულ წყალს (სასურველია ბიდესტილატი).

ქრომის შემცველობას ვპოულობთ საკალიბრო მრუდზე მკგ/ლ.

საკალიბრო მრუდის აგება. 50 მლ საზომ კოლბაში ასხავენ Cr (VI) საკალიბრო სამუშაო ხსნარს: 0,0; 0,05; 0,1; 1,0; 3,0; 5,0; 10 მლ და ავსებენ ნიშან-ხაზამდე გამოხდილი წყლით. ამ ხსნარების კონცენტრაცია შესაბამისად ტოლია: 0; 1; 2; 20; 60; 100; 200 მკგ Cr /ლ. უმატებენ ყველა რეაქტივს იმავე თანმიმდევრობით, როგორი თანმიმდევრობითაც უმატებენ საკვლევ ხსნარს. ზომავენ თითოეულის სიმკვრივეს აპარატზე და აგებენ საკალიბრო მრუდს. აბსცისთა ღერძზე აითვლიან ქრომის Cr (VI) –ის კონცენტრაციას მკგ Cr/ლ, ხოლო ორდინატთა ღერძზე სიმკვრივეს.

რეაქტივები:

1. დიფენილკარბაზიდის ხსნარი $(\text{C}_6\text{H}_5)_2(\text{NH})_4\text{CO}$, ქ.ს. 0,1 გრამი. ხსნიან 50 მლ ეთილის სპირტში, უმატებენ 200 მლ H_2SO_4 (1:1) გოგირდმჟავის ხსნარს. ხსნარს ინახავენ შუშის ჭურჭელში 3-5 შენახვა და გამოყენება შეიძლება ერთი თვის განმავლობაში. თუ ხსნარი მიიღებს მკვეთრ ყავისფერ შეფერილობას, ის ანალიზისთვის აღარ გამოდგება.
2. ფოსფორმჟავა H_3PO_4 კონცენტრირებული, ქიმიურად სუფთა. 0,13 გ რეაქტივს ხსნიან 10 მლ გამოხდილ წყალში. ანალიზისათვის საჭიროა ახლად დამზადებული ხსნარი.
3. ამონიუმის ჰიდროქსიდი NH_4OH 25%-იანი. 250 მლ 25%-იან

NH_4OH -ის ხსნარს ანზავენ 2-ჯერ. ე.ი. 500 მლ-მდე.

4. გოგირდმჟავა H_2SO_4 კონცენტრირებული. 100 მლ კონცენტრირებულ H_2SO_4 -ს მცირე ულუფებით ამატებენ 200 მლ გამოხდილ წყალს, მორევით და გაცივებით.

5. Cr(VI) –სტანდარტული ხსნარი.

ა) ძირითადი სტანდარტული ხსნარი, 100 მკგ Cr /მლ. 0,0283 გ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ქს. ხსნიან 100 მლ-იან საზომ კოლბაში გამოხდილი წყლით (სასურველია ბიდესტილატი) და მიჰყავთ საზომი კოლბის ნიშან-ხაზამდე (100 მლ-მდე). ხსნარი შეიძლება შევინახოთ რამდენიმე თვის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე.

ბ) სტანდარტული სამუშაო ხსნარი. 1 მკგ Cr /მლ. 1 მლ ძირითად სტანდარტული ხსნარის $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -ს ანზავენ (ორჯერ) დისტილირებული წყლით, შემდეგ 100 მლ-იან საზომ კოლბაში და ავსებენ ნიშან-ხაზამდე. ხსნარი მზადდება განსაზღვრის ჩატარების დღეს.

აპარატურა: სპექტროფოტომეტრი ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრი ($\lambda=540$ ნმ, მწვანე შუქფილტრი) კიუვეტ 5 სმ სისქის.

ჭურჭელი: 1. საზომი ცილინდრი 50 მლ – 1 ცალი.

2. პიპეტები: 1 მლ, 2 მლ, 5 მლ თითო ცალი.

3. საზომი კოლბები: 50 მლ- 10 ც, 100 მლ – 1 ც.

რკინის Fe(II) განსაზღვრა ორთო-ფენანტროლით

მეთოდი გათვალისწინებულია რკინის განსაზღვრისათვის, როდესაც მისი რაოდენობა 0,02-დან 4,0 მგ-მდეა ლიტრში. სინჯის შესაბამისი განზავენის შემთხვევაში შესაძლებელია უფრო მაღალი კონცენტრაციის რკინის გაენსაზღვრაც.

მეთოდის პრინციპი. მეთოდი დაფუძნებულია წითელ-იისფერი კომპლექსური ხსნარის სიმკრივის განსაზღვრაზე, რომელსაც მჟავე არეში ($\text{pH}=3$) ორვალენტიანი რკინის იონი წარმოქმნის ორთო-ფენანტროლინთან, შეფერილ ხსნარებს აქვთ უნარი შთანთქან სინათლის მაქსიმალური რაოდენობა, როცა ტალღის სიგრძე $\lambda=510$ ნმ.

მეთოდის დახასიათება. მეთოდი დაფუძნებულია რკინის ორ-

განული და მინერალური კომპლექსის წინასწარ დაშლა იონურ მდგომარეობამდე ადულებისას ძლიერ მჟავე არეში და რკინის ყველა ფორმის აღდგენაზე Fe^{2+} ფორმამდე.

რკინა (Fe^{2+}) ისაზღვრება ფოტომეტრულად ორთო-ფენანტროლინით.

ხელისშემშლელი გარემოებანი. განსაზვრას შეიძლება ხელი შეუშალოს ძლიერმა დამჟანგველებმა, ციანიდებმა, ნიტრიტებმა, პოლიფოსფატებმა, თუთიამ, კობალტმა და სპილენძმა (>5 მგ/ლ), ნიკელმა (>2 მგ/ლ). მეტალთა გავლენას აღკვეთენ ორთო-ფენანტროლინის ნაჯერობით დამატებით. დამჟანგველების, ციანიდების, პოლიფოსფატების გავლენის აცილება ხდება ანალიზის დროს (სინჯის დუღილი მჟავე არეში). ძალიან შეფერილი წყლების ანალიზის დროს, საჭიროა წინასწარ ამოვაშროთ, მშრალი ნაშთი გავახუროთ და გავხსნათ მარილმჟავაში.

ანალიზის მსვლელობა. 50 მლ წინასწარ შემჟავებულ სინჯს, რომელიც შეიცავს არა უმეტეს 0,15 მგ Fe^{2+} , ადულებენ მანამ, სანამ რკინის ყველა ფორმა არ გადავა იონურ მდგომარეობაში, მანამ სინჯის მოცულობა არ გახდება დაახლოებით 40 მლ, 10-15 წუთის განმავლობაში. ხსნარს გააცივებენ ოთახის ტემპერატურამდე, გაფილტრავენ და განაზავებენ საზომ კოლბაში 50 მლ-მდე დისტილირებული წყლით. შემდეგ გადააქვთ კონუსურ კოლბაში, უმატებენ 1 მლ ამონიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარს, 1 მლ ორთო-ფენანტროლინის და წვეთ-წვეთობით ამიაკს pH-3-მდე (კონტროლი უნივერსალური ქაღალდით).

საკალიბრო მრუდის აგება. 50 მლ საზომ კოლბაში ასხავენ 0,0; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10; 15 მლ სამუშაო სტანდარტულ ხსნარს, უმატებენ თითო მლ მარილმჟავას (კონცენტრირებული) და გამოხდილი წყლით შეავსებენ ნიშან-ხაზამდე. შესაბამისად კონცენტრაცია ამ ხსნარისა ტოლია: 0; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 მგ Fe/ლ. იწყებენ განსაზღვრას, როგორც ანალიზის მსვლელობაშია აღწერილი. გაზომვის დროს პარალელურ კიუვეტაში ათავსებენ დისტილირებულ წყალს.

აგებენ საკალიბრო მრუდს. აბსცისთა ღერძზე აღნიშნავენ რკინის კონცენტრაციას, მგ Fe/ლ, ხოლო ორდინატთა ღერძზე სიმკვრივეს.

რეაქტივები:

1. ორთო-ფენანტრილინის ხსნარი. $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$, 0,280 გ მონოჰიდრატო-რთო-ფენანტროლინს გავხსნით გამოხილ წყალში და 100 მლ საზომ კოლბაში გავხსნათ და შეავსოს ნიშან-ხაზამდე. ხსნარი ინახება ბნელ ადგილას გრილად.
2. ამიაკი NH_4OH , კონცენტრირებული.
3. მარილმჟავა, კონცენტრირებული, სუფთა, რომელიც რკინას არ შეიცავს.
4. რკინის სტანდარტული ხსნარი $NH_4Fe(SO_4) \cdot 12H_2O$.

ა) ძირითადი სტანდარტული ხსნარი, 100 მკგ Fe/ლ. 0,8634 გ რკინა-ამიაკური კვარცი $NH_4Fe(SO_4) \cdot 12H_2O$. (იასამნისფერი) გახსნიან გამოხდილ წყალში ნელ-ნელა (გახსნის ხანგრძლივობა დღე-ღამე), უმატებენ 2 მლ კონცენტრირებულ HCl -ში და მოცულობა მიჰყავთ საზომ კოლბაში 1 ლ-მდე გამოხდილი წყლით.

ბ) სტანდარტული სამუშაო ხსნარი. 10 მგ Fe/ლ. 10 მლ ძირითად ხსნარს 100 მლ საზომ კოლბაში ათავსებენ და გამოხდილი წყლით ავსებენ ნიშან-ხაზამდე. ეს ხსნარი მზადდება უშალოდ ანალიზის ჩატარების დღეს.

აპარატურა: სპექტროფოტომეტრი ($\lambda=510$ ნმ) ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრი (მწვანე შუქფილტრი).

ჭურჭელი: 1. კონუსური კოლბები 50 მლ-იანი – 7 ცალი.

2. პიპეტები: 0,5 მლ, 1,0 მლ, 2,0 მლ, 10 მლ, 25 მლ, 50 მლ-იანი თითო ცალი.

რუტინის კონცენტრაციის განსაზღვრა

მეთოდი დაფუძნებულია ყვითელი შეფერილობის ინტენსივობის გაზომვაზე, რომელიც წარმოიქმნება რუტინის ურთიერთქმედებით მწვავე ნატრიუმთან. ამზადებენ 0,02%-იან სპირტხსნარს.

(ფხვნილის ნელი გათბობით ხსნიან 96%-იან სპირტში. მინის ცილინდრში მიშლიფული საცობით). მიღებული ხსნარის 0,5მლ-ს ათავსებენ 10 მლ-იან ცილინდრში, უმატებენ 0,5 მლ 0,1 მოლურ ნატრიუმის ტუტის ხსნარს და სპირტით ავსებენ 10მლ-მდე. სამი წუთის შემდეგ ზომავენ მის სიმკვრივეს ფოტოკოლორიმეტრზე შუქფილები №3-ის გამოყენებით. კიუვეტა, რომლის ფენის სისქეა 10 მმ.

რუტონის რაოდენობას წამლის ფორმაში საზღვრავენ ფორმულით:

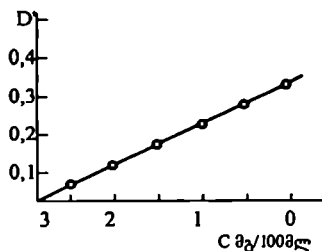
$$\frac{A \cdot 10^{-5} V m}{P}$$

სადაც A – რუტინის რაოდენობა მიკროგრამებში 1 მლ ხსნარში;

m – ფხვნილის მასა; V – მოცულობა, რომელშიც გახსნილია ფხვნილის წონაკი, P – წონა, აღებული გამოკვლევისათვის.

ნიკელის განსაზღვრა ფოლადში

ნიკელის განსაზღვრა ფოლადში დაფუძნებულია ტუტე არეში შეფერილი ნაერთების წარმოქმნაზე ნიკელისა დიმეთილგლიოქსიმთან დამჟანგველის თანაობისას.



ნახ.48. ნიკელის ხსნარში კონცენტრაციის განსასაზღვრავი საკალიბრო გრაფიკი (ბრუდი). ნიკელის კონცენტრაცია შესადარებელ ხსნარში 3,0 მგ-ია 100 მლ-ში.

ამზადებენ შესადარებელი ხსნარის – დიმეთილგლიოქსიმის ნიკელთან ნაერთების შეფერილ ხსნარს განსაზღვრული კონცენტრაციის C_0 , შემდეგ ამზადებენ განსასაზღვრავ და სტანდარტულ შეფე-

რილ ხსნარებს და ზომავენ მათ ფარდობით ოპტიკურ სიმკვრივეებს. ნიკელის იონების კონცენტრაცია საკვლევ ხსნარში ისაზღვრება საკალიბრო მრუდის დახმარებით (ნახ. 48), რომელიც ნიკელს შეიცავს:

სტანდარტულ ხსნარებში კონცენტრაცია ნაკლებია შესადარებელი ხსნარების კონცენტრაციასთან შედარებით, ($C_{\text{სტ}} < C_0$).

შენიშვნა. ნიკელის განსაზღვრა შეიძლება ჩატარდეს Fe^{3+} , Cu^{2+} და Cr^{3+} -ის თანაობისას. რკინის Fe^{3+} გავლენას აიცილებენ მდგრად ღვინისმჟავა კომპლექსთან დაკავშირებით; Mn^{2+} – იონები სამმაგი ნაჯერობითაც კი ხელს არ უშლიან ნიკელის განსაზღვრას. სპილენძის იონების მოქმედება 20% შემცველობის დროსაც კი არ აისახება (ნიკელის რაოდენობასთან თანაფარდობაში), ხოლო ქრომის ზეგავლენას აიცილებენ Cr^{3+} – დამატებით შესადარებელი ხსნარზე და სტანდარტულ ხსნარზე.

სამუშაოს შესრულება. საკალიბრო მრუდს აგებენ სტანდარტული ხსნარების მეშვეობით. ამისათვის 100 მლ მოცულობის საზომ კოლბაში ათავსებენ 0,1მგ/ლ კონცენტრაციის 3–30 მლ ნიკელის სტანდარტულ ხსნარს. თითოეულ კოლბას უმატებენ 4მლ $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ხსნარს (რომელიც შეიცავს 2მგ/მლ ქრომს), 12 მლ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ხსნარს (რომელიც შეიცავს რკინას 1მგ/მლ), 5მლ 20% სეგნეტის მარილის ხსნარს, 10 მლ 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ხსნარს, 15 მლ 10% NaOH -ის ხსნარს და 5 მლ 1%-იან დიმეთილგლიოქსიმის ტუტე ხსნარს. კოლბების შიგთავსს მოურევენ 1 საათის შემდეგ და გამოხდილი წყლით მიჰყავთ ნიშანხაზამდე და კვლავ მოურევენ.

შესადარებელ ხსნარს, რომელიც შეიცავს 30მლ ნიკელის სტანდარტულ ხსნარს და ყველა დანარჩენი რეაქტივი, ფოტომეტრირებას ახდენენ ლურჯ–მწვანე შუქფილტრით კიუვეტებში, რომლის ფენის სისქე 5სმ-ია, სტანდარტულ ხსნართან დამოკიდებულებაში.

ფოლადის საანალიზო ნიმუშში, ნიკელის განსაზღვრავად იღებენ 0,2გ წონაკს (რომელშიც Ni-ის შემცველობა 5–დან 12%-მდეა) ან 0,1გ (თუ Ni-ის შემცველობა 12%-ზე მეტია) და ამუშავებენ 20მლ HCl -ის ხსნარით (1:1); დაშლიან კარბიდებს და დაჟანგავენ რკინას

რამდენიმე წვეთი HNO_3 -ით (სიმკვრივე 1,40 გ/სმ³). ხსნარს გააცივენ ბენ და გადაიტანენ საზომ კოლბაში, რომლის მოცულობა 200 მლ-ია, განაზავენ განმოსხილი წყლით ნიშანხაზამდე და მოურევენ. მიღებული ხსნარის 20 მლ-ს გადაიტანენ 100 მლ-იან საზომ კოლბაში და ყველა პროცედურას ჩაატარებენ, რომელსაც ატარებდნენ საკალიბრო მრუდის აგებისას.

მეთოდიკა რეკომენდირებულია ფოლადებში მაღალი შემცველობის ნიკელის განსასაზღვრავად (26%-მდე).

რეაქტივები

სეგნეტის მარილი 20% ხსნარი.

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 10% ხსნარი.

NaOH , 10% ხსნარი.

დიმეთილგლიოქსიმი 1% ტუტე ხსნარი.

ნიკელის მარილის სტანდარტული ხსნარი, რომელიც შეიცავს 0,1 მგ ნიკელის 1 მლ-ში. 0,4786 გ ქიმიურად სუფთა $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -ის წონაკს გახსნიან დისდირებულ წყალში, ხსნარს შეამჯავებენ 2-3 მლ კონცენტრირებული H_2SO_4 -ით და წყლით მიიყვანენ 1 ლ-მდე.

ქრომის ნიტრატის სტანდარტული ხსნარი, რომელიც შეიცავს 2 მგ ქრომს 1 მლ ხსნარში. 15,39 გ ქ.ს. $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ წონაკს გახსნიან 200 მლ განმოსხილ წყალში, უმატებენ 2-3 მლ HNO_3 (სიმკვრივე 1,40) და მოცულობას მიიყვანენ 1 ლ-მდე.

რკინის ნიტრატის სტანდარტული ხსნარი, რომელიც შეიცავს 1 მგ რკინას 1 მლ ხსნარი, 7,238 გ ქ.ს. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ წონაკს გახსნიან დისტილირებულ წყალში, დაუმატებენ 2-3 მლ HNO_3 -ს (სიმკვრივე 1,40) და შეავსებენ 1 ლ მოცულობამდე დისტილირებული წყლით.

თავი 5. ბუნებრივი და ტექნიკური ობიექტების ანალიზი

ბუნებრივი და ტექნიკური ობიექტების ანალიზი, ტრადიციულად ცნობილი ტექნიკური ანალიზის სახელით, ეწოდება ანალიზური ქიმიის ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სხვადასხვა წარმოების ნედლეულის, დამხმარე მასალებისა და საბოლოო პროდუქციის შედგენილობასა და თვისებებს. ტექნიკური ანალიზი არის არა მარტო ქიმიური, არამედ სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგის ბევრი სხვა საწარმოო პროცესების კონტროლის აუცილებელი ნაწილი.

ტექნიკური ანალიზის მეთოდების სიზუსტე წარმოების მოთხოვნებით არის განპირობებული და საკმარისი უნდა იყოს სწორი შედეგების მისაღებად, ამიტომ ტექნიკურ ანალიზში განსაზღვრების მაქსიმალური სიზუსტისაკენ არ მიისწრაფიან. წარმოების კონტროლისათვის უფრო მეტი მნიშვნელობა აქვს ანალიზის შესრულების სიჩქარეს, განმეორებადობასა და განსაზღვრის შესრულების სიმართლეს.

ამრიგად, ტექნიკური ანალიზი ეს კვლევის ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკური საშუალებების ერთობლიობაა, რომელიც გამოიყენება ნედლეულის, მასალებისა და მზა პროდუქციის დადგენილ ნორმებთან შესაბამისობის განსაზღვრისათვის; აგრეთვე წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის საფეხურებრივი კონტროლისათვის.

შეიძლება დავასახელოთ ზოგიერთი ამოცანა, რომელთა გადაწყვეტამ ხელი უნდა შეუწყოს ტექნიკური ანალიზის ლაბორატორიების მუშაობის გაუმჯობესებას:

- თანამედროვე აპარატებით მუდმივი აღჭურვა, არსებულის მოდერნიზაცია;
- ავტომატიზირებული ანალიზური ხელსაწყოების, გამოთვლითი ტექნიკის შექმნა და მათი ფართოდ დანერგვა;
- სამუშაო პრაქტიკაში ანალიზის სტანდარტული მეთოდების ათვისება და მცირე რაოდენობის განსაზღვრის მეთოდების უნიფიცირება

რება;

– თეორიული და პრაქტიკული ცოდნის სისტემატური ამადლება, კავშირი მეცნიერებასთან.

ქიმიური კონტროლის სისტემაში ძირითად მეთოდებად რჩება ქიმიური მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევა დიდი სიზუსტით ჩავატაროთ განსაზღვრები. უკანასკნელ წლებში მრეწველობაში დაინერგა ხელსაწყოთა დიდი რაოდენობა ნივთიერებების ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრისათვის, რომლებიც დაფუძნებულია ანალიზის ფიზიკურ და ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებზე: ქრომატოგრაფიაზე, პოლაროგრაფიაზე, ოპტიკურ და რენტგენულ სპექტროსკოპიაზე, მასსპექტრომეტრიაზე, რადიაქტურ მეთოდებზე, შთანთქმავზე და სხვა.

5.1. სილიკატების ანალიზი

სილიკატებს მიეკუთვნება მთის ქანები, ცეცხლგამძლე მასალები, ცემენტები, ჭიქურები, წვადი მასალების ნაგარი და სხვა. ყველა ეს მასალა, ჩვეულებრივ შეიცავს სილიციუმჟავას, ალუმინს, რკინას, მაგნიუმს, კალციუმს, ტიტანს, მანგანუმს, ნატრიუმს, კალიუმს, გოგირდის ანჰიდრიდს, ნახშირბადის დიოქსიდს, ფტორიდებს, ქლორიდებს და ა.შ. მათი შემცველობა საანალიზო სინჯებში სხვადასხვაა. ჩვეულებრივი შემადგენელი ნაწილების გარდა, სილიკატები სხვა, ნაკლებად გავრცელებულ ელემენტებსაც შეიცავს.

სილიკატები ბუნებრივი წარმოშობის ან ამა თუ იმ პროდუქტად გადამუშავებული სილიციუმჟავების მარილებია. შედგენილობის სირთულის გამო სილიკატები ანალიზისათვის ერთ-ერთი რთული ობიექტია. მაგალითისათვის მოყვანილია ცემენტის ქიმიური ანალიზის ტრადიციული სქემა. ცემენტი არის ხელოვნური მჭიდა სამშენებლო მასალა, რომელსაც უნარი აქვს გამაგრდეს როგორც ჰაერზე, ასევე წყლის ქვეშ. ცემენტი წარმოადგენს მომწვანო-რუხ

ფხვნილს, რომელიც შედგება კალციუმის სხვადასხვა სილიკატისა და ალუმოსილიკატების ნარევისაგან.

ჰიგროსკოპულ ტენს საზღვრავენ ცემენტის წონაკის მუდმივ მასამდე მიყვანით საშრობ კარადაში, $105^{\circ}\text{--}110^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე.

მარილმჟავაში უხსნადი ნაშთი ახასიათებს უხსნადი საწყისი ნივთიერებების რაოდენობას. მას საზღვრავენ კლინკერში, დაუფუქველი ცემენტის შემცხვარ მასალაში. ცემენტის წონაკის გახსნის პროცედურის შემდეგ ნალექს გამოწვევენ მუფელის ღუმელში მუდმივ მასამდე. უხსნადი ნაშთის შემცველობას გამოთვლიან ჰიგროსკოპული ტენისა და გამოწვის შემდეგ დარჩენილი ნაშთის მასის მონაცემებით.

სილიციუმმჟავა ცემენტის მჟავათი დამუშავების შემდეგ წარმოიქმნება. ამ დროს სილიციუმმჟავა ნაწილობრივ ნალექშია, ხოლო ნაწილობრივ—ხსნარში—კოლოიდის სახით. ნალექში მისი მთლიანი გადაყვანა ხდება ხსნარის აორთქლებით, ნალექის გაცხელებითა და გამოშრობით. ამ დროს სილიციუმმჟავას ზოლი გელში გადადის და შემდეგი გამოწვის ($1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$) შედეგად SiO_2 -ად გარდაიქმნება.

ერთნახევრიან ოქსიდებს Fe_2O_3 , Al_2O_3 და TiO_2 საზღვრავენ ჯამურად, ფილტრში. სილიციტუმმჟავას მოცილების შემდეგ. ამიაკის საშუალებით ნალექში გამოყოფენ Al , Fe და Ti -ის ჰიდროქსიდებს, რომლებიც გამოწვისას ოქსიდებში გადადის.

კალციუმის ოქსიდს საზღვრავენ Ca^{2+} იონების დალექვით მჟაუნმჟავით ან ამონიუმის ოქსალატით. კალციუმის ოქსალატს ამუშავებენ გოგირდმჟავით, მჟაუნმჟავას ეკვივალენტური რაოდენობის გამოყოფით, რომელსაც კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით ტიტრვენ. KMnO_4 დახარჯული ხსნარის რაოდენობით საზღვრავენ კალციუმის შემცველობას.

მაგნიუმის ოქსიდს საზღვრავენ ფილტრატში მაგნიუმის დალექვით მაგნიუმამონიუმფოსფატის სახით, დინატრიუმფოსფატისა Na_2HPO_4 და ამიაკის NH_4OH საშუალებით. ნალექის გამოწვის შემდეგ მაგნიუმის პიროფოსფატის $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ მასით პოულობენ MgO -ს შემ-

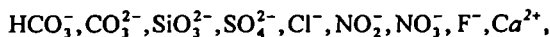
ცველობას. გოგირდის ანჰიდრიდს საზღვრავენ ფილტრატში სილიციუმის მჟავასა და ერთნახევრიანი ოქსიდების მოცილების შემდეგ SO_4^{2-} იონების ბარიუმის ქლორიდით დალექვით. გამოწვის შემდეგ წონიან მიღებულ BaSO_4 -ს.

5.2. წყლის ანალიზი

წყალი ფასდაუდებელი სიმდიდრეა და ყოველთვის ითვლებოდა სიცოცხლის პირველწყაროდ. იგი ფართოდ და მრავალმხრივად გამოიყენება.

ქიმიურად სუფთა წყალი ბუნებაში არ არსებობს. დედამიწის ქერქში მოძრაობისას წყალი ეხება მრავალ მინერალს, ხსნის მას და თან ატარებს მიმოქცევის მთელ გზაზე. ბუნებრივი წყალი ხსნარია, რომელიც შეიცავს სხვადასხვა ბუნებისა და მდგომარეობის ნივთიერებებს. ამიტომ წყლის ანალიზს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

წყლის შედარებით სრული ანალიზი ითვალისწინებს ისეთი მაჩვენებლებისა და კომპონენტების განსაზღვრას, როგორიცაა შეტივტივებული ნაწილაკები, მშრალი ნაშთი, სიხისტე, ნაშთი გამოწვის შემდეგ, ჟანგვადობა, ტუტეანობა, მჟავიანობა, pH,



მშრალი ნაშთი ახასიათებს წყალში გახსნილი $110-120^\circ\text{C}$ ტემპურატურაზე არააქროლადი, მინერალური და ორგანული ნივთიერებების საერთო შემცველობას. მის მნიშვნელობას ღებულობენ წყლის სინჯის საშრობ კარადაში აღნიშნულ ტემპერატურაზე აორთქლებითა და გამოშრობით.

წყლის საერთო სიხისტე გვიჩვენებს ორვალენტიან ტუტემიწა ლითონების, პირველ რიგში კალციუმისა და მაგნიუმის კატიონების კონცენტრაციას. კალციუმისა და მაგნიუმის რაოდენობას, რომელიც კარბონატებისა და ჰიდროკარბონატების რაოდენობის ეკვივალენ-

ტურია, კარბონატული სიხისტე ეწოდება. არაკარბონატული სიხისტე ისაზღვრება როგორც სხვაობა საერთო და კარბონატულ სიხისტეს შორის და გვიჩვენებს ტუტემიწა ლითონების კატიონების რაოდენობას, რომელიც შეესაბამება მინერალური მჟავების ანიონებს, ქლორიდ, სულფატ-იონებსა და სხვა.

საერთო სიხისტე განისაზღვრება კომპლექსონმეტრული მეთოდით. კარბონატული და არაკარბონატული სიხისტის განცალკავებულ მნიშვნელობებს დებულობენ გამოთვლით, წყლის საერთო სიხისტისა და ტუტეიანობის სიდიდეების გამოყენებით. კომპლექსონმეტრული განსაზღვრა დაფუძნებულია იმაზე, რომ ნატრიუმის ეთილენდიამინტეტრააცეტატი (ედტა) წარმოქმნის $\text{pH}=10$ -ის დროს მტკიცე კომპლექსურ ნაერთებს ჯერ კალციუმის, ხოლო შემდეგ მაგნიუმის იონებთან. როდესაც საანალიზო წყალში ინდიკატორი ერიოქრომ შავი-T შეაქვთ, იგი ალუბლისფერ-წითელ კომპლექსურ ნაერთს წარმოქმნის. კომპლექსონ III (ედტა)-თი მომდევნო გატიტვრის დროს, ეს უკანასკნელი უერთდება რა კალციუმისა და მაგნიუმის იონებს, გამოდევნის ინდიკატორს, რომელსაც თავისუფალ მდგომარეობაში ლურჯი ფერი აქვს.

ტუტეიანობა განისაზღვრება ძლიერი მჟავას რაოდენობით, რომელიც აუცილებელია სუსტი მჟავების ანიონების – კარბონატების, ბიკარბონატებისა და ა.შ. ჩანაცვლებისათვის. ჩვეულებრივ, ბუნებრივ წყლებში ტუტეიანობა დამოკიდებულია, მხოლოდ ტუტემიწა ლითონების ჰიდროკარბონატებზე და პრაქტიკულად კარბონატული სიხისტის იდენტურია. ამ შემთხვევაში წყლის pH -ის მნიშვნელობა 8,3-ს არ აღემატება.

ძლიერი მჟავას ტიტრირებული ხსნარის რაოდენობა, რომელიც იხარჯება $\text{pH}=8,3$ მიღწევამდე, თავისუფალი ტუტეიანობის ეკვივალენტურია; მჟავას რაოდენობა, რომელიც აუცილებელია $\text{pH}=4,5$ მიღწევამდე, საერთო ტუტეიანობის ეკვივალენტურია, თუ წყლის $\text{pH}<4,5$; მაშინ მისი ტუტეიანობა ნულის ტოლია. გატიტვრის ბოლო წერტილს ადგენენ ვიზუალურად ან ელექტრომეტრულად.

მჟავიანობა-წყალში იმ ნივთიერებების შემცველობაა, რომლებიც ძლიერ ტუტეებთან (NaOH , KOH) შედის რეაქციაში. ტუტის გატიტრული ხსნარის რაოდენობა, რომელიც იხარჯება $\text{pH}=4,5$ მისაღებად, შეესაბამება თავისუფალ მჟავიანობას, ხოლო ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა $\text{pH}=8,3$ მისაღებად, საერთო მჟავიანობისას შეესაბამება. თუ $\text{pH}<8,3$; მაშინ წყლის მჟავიანობა ნულის ტოლია.

გატიტრის დასრულებას საზღვრავენ ვიზუალურად ან ელექტრომეტრულად, ჟანგვადობა იმ ჟანგადის რაოდენობაა, რომელიც ეკვივალენტურია წყალში გამჟუჭყიანებლების დაჟანგვაზე დახარჯული დამჟანგველისა. გამოყენებული მჟანგავის მიხედვით ანსხვავებენ პერმანგანატულ, ბიქრომატულ და სხვა დამჟანგველობას. შეიძლება განისაზღვროს საერთო ჟანგვადობა – ყველა იმ ორგანული და მინერალური ნივთიერებების, რომლებიც ანალიზის პირობებში იჟანგება, კონცენტრაციების პროპორციული სიდიდე. ასევე შეიძლება განისაზღვროს მხოლოდ ორგანული ნივთიერებების კონცენტრაციის პროპორციული ჟანგვადობა.

პერმანგანატული ჟანგვადობის განსაზღვრის მეთოდი მდგომარეობს წყლის სინჯში არსებული ნივთიერებების დაჟანგვაში, კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით, გოგირდმჟავა გარემოში დუღილის დროს.

ბიქრომატი, გოგირდმჟავა გარემოში დუღილის დროს, ჟანგავს წყალში არსებული ორგანული და ზოგიერთი მინერალური ნივთიერებების უმრავლესობას.

წყალბადის მაჩვენებელი pH -წყალბადის იონების კონცენტრაცია ბუნებრივ წყლებში ძირითადად განპირობებულია თავისუფალი ნახშირბადის დიოქსიდისა და ბიკარბონატ-იონების კონცენტრაციათა ფარდობით. ასეთ შემთხვევაში $4,5$ pH -ს და $8,3$ pH -ს საზღვრავენ კოლორიმეტრული ან ელექტრომეტრული მეთოდით მინის ელექტროდის გამოყენებით.

წყლის ე.წ. ტიპიური ანალიზის დროს კათიონებიდან საზღვრავენ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} და Fe^{2+} , ანიონებიდან – Cl^{-} , SO_4^{2-} და HCO_3^{-} .

კალციუმის იონს საზღვრავენ კომპლექსონ III (ტრილონ B)-ით გატიტვრით. მეთოდი დამყარებულია ძლიერ ტუტე გარემოში Ca^{2+} -ის ტრილონ B-თან კომპლექსის მდგრადობაზე. გატიტვრის დროს Ca-ის თავისუფალი იონების კომპლექსში შეზღუდვის დამთავრება დგინდება ინდიკატორ მურექსიდის ფერის შეცვლით.

მაგნიუმის იონს საზღვრავენ საერთო სიხისტისა და კალციუმის იონის შემცველობის სხვაობით. საერთო სიხისტეს საზღვრავენ ამიაკური ბუფერის გარემოში ინდიკატორი ერიოქრომშავი T-ს თანაობისას კომპლექსონმეტრული გატიტვრით. სინჯის სხვა – ალიქვატურ ნაწილში ტუტის დამატების შემდეგ საზღვრავენ კალციუმის იონს ინდიკატორ მურექსიდის თანაობისას. ორივე გატიტვრის შედეგების სხვაობა მაგნიუმის რაოდენობას შეესაბამება.

ნატრიუმის იონი განისაზღვრება ალური ფოტომეტრიის მეთოდით.

რკინის იონს საზღვრავენ ფოტომეტრული მეთოდით ინდიკატორ ორთო-ფენონტროლინის გამოყენებით. ეს უკანასკნელი რკინის იონებთან რეაქციის დროს $\text{pH}=3-9$ ინტერვალში წარმოქმნის მოწითალო-იისფერ კომპლექსურ ნაერთს, რომლის ოპტიკურ სიმკვრივეს ზომავენ ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე.

ქლორიდ-იონი ისაზღვრება არგენტუმმეტრული გატიტვრით მორის მეთოდით, რისთვისაც ქლორიდ-იონებს ლექავენ $\text{pH}=7-10$ -ზე AgNO_3 -ის ტიტრირებული ხსნარით. ინდიკატორად იყენებენ კალიუმის ქრომატის ხსნარს, რომელიც რეაგირებს ვერცხლის ჭარბ იონებთან და იწვევს ყვითელი შეფერვის გადასვლას ნარინჯისფერ-ყვითელში.

სულფატ-იონს საზღვრავენ წონითი მეთოდით ბარიუმის სულფატის სახით. ჰიდროკარბონატ და კარბონატ-იონები ისაზღვრება ალკალიმეტრული გატიტვრით კარბონატ-იონებისათვის – ინდიკატორ ფენოლფტალეინის გამოყენებით, ხოლო ჰიდროკარბონატ-იონებისათვის – მეთოდნარინჯის გამოყენებით.

5.3. აირების ანალიზი

აირადი ნარევების ანალიზისა და ცალკეული აირადი ნივთიერებების შემცველობის რაოდენობით განსაზღვრას იყენებენ აირების გადამუშავებთან, გამოყოფასთან ან შთანთქმასთან დაკავშირებული საწარმოო პროცესების კონტროლისა და რეგულირების დროს.

აირების ანალიზის მეთოდები მრავალნაირია და დაფუძნებულია აირების ქიმიურ ან ფიზიკურ თვისებებზე, ასე, მაგალითად, აირის სითბური ეფექტის გაზომვაზე, აირების სიბლანტის ვისკოზიმეტრულ გაზომვაზე, აირების სიმკვრივის დენსიმეტრულ გაზომვაზე და ა.შ. აირადი ნარევების რაოდენობითი ანალიზისათვის ყველაზე ხშირად იყენებენ აირმოცულობით (ვოლუმმეტრულ) ანალიზს; იგი დაკავშირებულია აირის სინჯის მოცულობის შემცირების გაზომვასთან, როდესაც ნარევის ცალკეული შემადგენელი ნაწილები შთანთქმება თხევადი ან მყარი მშთანთქმელებით.

აირების ანალიზის ვოლუმმეტრული მეთოდები გამოიყენება ნარევაში აირების შედარებით მაღალი კონცენტრაციების დროს. მცირე კონცენტრაციების განსასაზღვრავად საკვლევი აირის სინჯის მოცულობას ზრდიან და შესაბამის მშთანთქავ ხსნარში ატარებენ. მიმდინარე რეაქციისაგან დამოკიდებულებით საზღვრავენ რეაქტივის (მშთანთქავი ხსნარის) ნაშთს, შეფერვის ინტენსიურობასა და სხვა. მშთანთქავი ხსნარის სიჭარბის გატიტვრით შეიძლება მეტად მცირე კონცენტრაციის გაზომვა. მრავალკომპონენტიანი აირადი ნარევების ანალიზისათვის, რომლებიც ქიმიურ დაცილებას არ ექვემდებარება, მაგალითად, ნახშირწყალბადების ან ინერტული აირების ნარევებისათვის იყენებენ კონდენსაციურ, და აგრეთვე, სორბციულ მეთოდებს. კონდენსაციური მეთოდები დამყარებულია საანალიზო აირადი ნარევის კონდენსაციაზე დაბალი ტემპერატურის პირობებში, მაგალითად: თხევადი ჰაერის ტემპერატურაზე. შემდეგ ხდება ნარევის შემადგენელი კომპონენტების დაყოფა. ბოლო დროს ფართოდ იყენებენ ანალიზის ქრომატოგრაფიულ მეთოდებს, რომლებიც დამ-

ყარებულია რომელიმე სორბენტით აირების ადსორბციაზე და მათ მომდევნო ფრაქციულ დესორბციაზე. დესორბციის პროცესში გამოიდევენა ჯერ უფრო მსუბუქი, ხოლო შემდეგ უფრო მძიმე კომპონენტები, რომელთა კონცენტრაცია შეიძლება იყოს განსაზღვრული, მაგალითად, სითბოგამტარობით.

აირების ანალიზის საბოლოო შედეგს გამოსახავენ მოცულობით პროცენტებში. ვინაიდან აირის მოცულობა ტემპერატურასა და წნევაზეა დამოკიდებული, აუცილებელია აირის გაზომილი მოცულობის გამოთვლა 0°C ტემპერატურასა და 760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის პირობებში. აირის მოცულობას ნორმალურ პირობებზე დაიყვანენ მენდელეევ-კლაპეირონის განტოლებით.

აირების ანალიზის ადსორბციულ მეთოდს საფუძვლად უდევს აირთა ნარევის ამა თუ იმ კომპონენტის შერჩევითი შთანთქმა თხევადი, ან უფრო იშვიათად მყარი, რეაქტივ-მშთანთქმელით. ნარევის მოცემულ აირმაგვარ კომპონენტსა და მშთანთქმელს შორის ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად ახალი ნივთიერება წარმოიქმნება. თუ აირების ნარევი უნდა განისაზღვროს რამდენიმე კომპონენტი, მაშინ მათ ახორციელებენ თანამიმდევრულად (ისე, რომ არცერთი მშთანთქმელი არ უშლიდეს ხელს მეორის მოქმედებას) და ყოველი მშთანთქმის შემდეგ ზომავენ აირის მოცულობას. სხვაობა საწყის და საბოლოო მოცულობებს შორის აბსორბირებული აირის რაოდენობას შეესაბამება. აირთა ნარევის ყოველი შემადგენელი ნაწილისათვის იყენებენ სპეციფიკურ მშთანთქმელს, რომელიც ქიმიურად ურთიერთქმედებს მხოლოდ მოცემულ აირთან.

მაგალითად: ნახშირბადის დიოქსიდისათვის CO_2 გამოიყენება თხევადი მშთანთქმელი KOH -ის 20–30%-ანი ხსნარი, მშთანთქმელი –ნატრონის კირი (1 წ.ნ. NaOH და 2წ.ნ. CaO) და ასკარიტი (ნატრონის აზბესტი); ნახშირბადის ოქსიდისათვის CO იყენებენ Cu_2Cl_2 -ის ამიაკურ ხსნარს, რომელიც აირთან კომპლექსურ ნაერთს წარმოქმნის; ჟანგბადისათვის O_2 -ყველაზე მეტად გავრცელებული მშთანთქმელია პიროგალოლის ტუტეანი ხსნარი.

ანალიზისათვის არსებობს სხვადასხვა კონსტრუქციების ხელსაწყოები. მოცულობითი აირანალიზატორები განკუთვნილია აირების ნარევის ერთ-ერთი კომპონენტის შემცველობის განსაზღვრისათვის, მისი მოცულობისა და აირის სინჯის ცნობილი მოცულობის ცვლილების განსაზღვრის საშუალებით, მუდმივი წნევის პირობებში. აირანალიზატორის მუშაობის დროს თანმიმდევრულად ხორციელდება შემდეგი ოპერაციები: სინჯის აღება და გაზომვა ჩვეულებრივ, ატმოსფერულ წნევაზე, სინჯიდან განსასაზღვრავი კომპონენტების მოცილება შთანთქმის ან დაწვის საშუალებით, დარჩენილი სინჯის მოცულობის გაზომვა, ხელსაწყოდან გაანალიზებული სინჯის მოცილება. აირების ნარევიდან განსასაზღვრავი კომპონენტის მოცილების ხერხის მიხედვით, არსებობს სამი სახის აირანალიზატორი:

- მშთანთქავი (ადსორბციული), რომელშიც აირების ნარევიდან განსასაზღვრავი კომპონენტის მოცილება ხდება მისი შერჩევითი შთანთქმით, თხევადი ან მყარი რეაგენტით;
- აირანალიზატორი, რომელიც დამყარებულია დაწვაზე, როდესაც განსასაზღვრავი კომპონენტის აირების ნარევიდან მოცილება ხდება წვის რეაქციის საშუალებით.
- კომბინირებული, რომელშიც შერწყმულია დაწვის და შთანთქმის ოპერაციები.

მოცულობითი ანალიზის დიდი რაოდენობა სხვადასხვა აირების განსაზღვრის, მრავალკომპონენტიანი ანალიზის ჩატარების საშუალებას იძლევა და ექსპლუატაციისათვის ადვილია. მეთოდის ნაკლია ანალიზის შედარებით დაბალი სიზუსტე, ანალიზის ხანგრძლივობა, აგრეთვე რეაგენტების ხშირი შემოწმებისა და გამოცვლის აუცილებლობა.

5.4. ორგანულ ნივთიერებათა ანალიზი

თითქმის XX საუკუნის ნახევრამდე ორგანული ნივთიერებების ანალიზი, თავისი სპეციფიკურობის გამო, ვითარდებოდა საკუთარი, არაორგანული ანალიზისაგან განსხვავებული გზებით და ანალიზური ქიმიის სასწავლო კურსში არ შედიოდა. იგი განიხილებოდა, როგორც ორგანული ქიმიის ნაწილი. მაგრამ შემდეგ, ანალიზის ახალი, ძირითადად ფიზიკური მეთოდების შექმნის, არაორგანულ ანალიზში ორგანული რეაქტივების ფართოდ გამოყენების გამო, ანალიზური ქიმიის ეს ორი შტო ერთმანეთს დაუახლოვდა და ამჟამად ერთიან საერთო მეცნიერულ და სასწავლო დისციპლინას წარმოადგენს. მართლაც, ორგანული ნივთიერებების კომპონენტების იდენტიფიკაციასა და რაოდენობით განსაზღვრას აქვს თავისი სპეციფიკა, არაორგანულ ნივთიერებათა ანალიზთან შედარებით. არაორგანული ნივთიერებები ელექტროლიტებს წარმოადგენს, ხსნარში წარმოქმნის იონებს და არაორგანულ ნივთიერებათა ანალიზი არსებითად ამ იონების განსაზღვრაზე დაიყვანება. ორგანული ნივთიერებები – ელექტროლიტები ძირითადად იგივე მეთოდებით ისაზღვრება, მაგრამ ორგანულ ნივთიერებათა უმეტესობა არაელექტროლიტია, მათი განსაზღვრისათვის იყენებენ განსაკუთრებულ მეთოდებს, რომლებიც ემყარება ამ ნივთიერებებში არსებული ფუნქციური ჯგუფების ქიმიურ თავისებურებებს. ორგანული ნივთიერებების დიდი მრავალფეროვნების, ზოგიერთ ნაერთში რამდენიმე სხვადასხვა ფუნქციური ჯგუფის არსებობის, მოლეკულების აღნაგობის სირთულის, იზომერიისა და ა.შ. გამო, საერთო მეთოდების შერჩევა სხვადასხვა ნაერთებში, ერთი და იგივე ფუნქციური ჯგუფებისთვისაც კი, მეტად რთულია. ერთნაირი ფუნქციური ჯგუფების შემცველ ნივთიერებებს ხშირად სხვადასხვა მეთოდებით საზღვრავენ.

ამრიგად, ორგანული ნივთიერებების თვისებით ანალიზში იყენებენ რეაქტივებს, რომლებიც განსაზღვრული ფუნქციური ჯგუფების იდენტიფიცირების საშუალებას იძლევა. აუცილებელია ფი-

ზიკური კონსტანტების ღლობის ტემპერატურის ან თხევადი ნივთიერებების იდენტიფიცირების დროს -- სიმკვრივის, დუღილისა და გაყინვის ტემპერატურების, გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრა. კვლევის დროს განსაკუთრებული მნიშვნელობა მოიპოვა ქრომატოგრაფიულმა მეთოდებმა. ორგანული ნივთიერებების რაოდენობით ანალიზში ფართოდ იყენებენ ელემენტურ ანალიზს, ე.ი. საზღვრავენ გამოსაკვლევ ნივთიერებაში არსებული ყოველი ელემენტის პროცენტულ შემცველობას. უფრო მეტად საზღვრავენ ნახშირბადს, წყალბადს, გოგირდს, ჰალოგენებს, აზოტს, შედარებით იშვიათად ფოსფორს, დარიშხანს, კიდევ უფრო იშვიათად ქანგბადს, ლითონებსა და ზოგიერთ სხვას. გარდა ამისა, ორგანული ნივთიერებების ანალიზში ფუნქციური ჯგუფების მიხედვით ატარებენ თვისებით და რაოდენობით განსაზღვრას. ამასთან დაკავშირებით, ორგანული ნაერთების ქიმიურ ანალიზს ყოფენ ელემენტურ ანალიზად და ფუნქციურ ანალიზად. ჩვეულებრივ, ორგანული ნივთიერებების ანალიზის ეს სახეები ერთმანეთს აკვებს, ხოლო ფიზიკურ მეთოდებთან შეხამებით სწორ წარმოდგენას იძლევა ორგანული ნივთიერებების თვისებით და რაოდენობით შედგენილობაზე.

რაოდენობითი ელემენტური ანალიზის საფუძველს დიდი ხნის მანძილზე გრავიმეტრული მეთოდი წარმოადგენდა. პრაქტიკულად იგი ამჟამადაც არის გავრცელებული, მაგრამ ამ მეთოდს აქვს რამდენიმე ნაკლი, რომელთაგან ძირითადია ანალიზის შესრულების ხანგრძლივობა. ინსტრუმენტული ანალიზური მეთოდების განვითარებასთან ერთად ისინი ინერგებოდა ორგანული ნაერთების წვის პროდუქტებში ნახშირბადისა და წყალბადის განსაზღვრისათვის. ყველაზე ეფექტური გამოდგა აირ-ქრომატოგრაფიის შეხამება თერმოკონდუქტომეტრიასთან, რომელმაც ორგანული ნაერთების დიდი რაოდენობის შედგენილობაში შემავალი წყალბადის, ნახშირბადისა და აზოტის ერთდროული განსაზღვრის საშუალება შექმნა.

ავტომატური CHN-ანალიზატორების მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ახდენენ ორგანული ნივთიერების სინჯის

ჟანგვით დაშლას რეაქტორში. დაშლა იწყება სინჯის განლაგების ადგილას და მთავრდება ჟანგვის სპეციალურ ზონაში. შემდეგ დაშლის აირადი პროდუქტები გადის აღდგენის ზონაში, სადაც რეაქტორში შეყვანილი ან რეაგენტების მიერ გამოყოფილი ჟანგბადის სიჭარბის შთანთქმა ხდება და აგრეთვე ხორციელდება აზოტის ოქსიდების აღდგენა ელემენტარულ აზოტამდე. აირების ნარევის დაყოფის მიზნით ჩვეულებრივ იყენებენ აირ-ქრომატოგრაფიას, სელექციურ აღსორბეციას ან მათ შეხამებას. დაჟანგვის პროდუქტების შემცველობას საზღვრავენ თერმოკონდუქტომეტრული დეტექტორ-კატარომეტრის გამოყენებით. ხელსაწყოს დაკალიბრებას ახდენენ ყოველდღიურად, სტანდარტული ნივთიერებების წონაკებით. სინჯის წონაკი 0,3–1მგ შეადგენს.

ფუნქციური ჯგუფი ეწოდება მოლეკულის სტრუქტურულ ფრაგმენტს, რომელიც დამახასიათებელია ორგანული ნაერთების მოცემული კლასისათვის და განსაზღვრავს მის ქიმიურ თვისებებს. ამინებში ასეთია ამინოჯგუფი, სპირტებში – ჰიდროქსილის ჯგუფი, კრაბონმჟავებში – კარბოქსილის ჯგუფი და ა.შ.

აქტიური წყალბადის ($-H$) განსაზღვრა. ორგანულ ნაერთებში არსებულ წყალბადს, თუ იგი ლითონით შეიძლება ჩაინაცვლოს, ეწოდება აქტიური. გრინი – არის რეაქტივი ურთერთქმედებს აქტიური წყალბადის შემცველ ორგანულ ნივთიერებებთან მეთანის გამოყოფით. წარმოქმნილი მეთანის მოცულობით პოულობენ წყალბადის შემცველობას. შეიძლება გაიზომოს უშუალოდ წყალბადის მოცულობა, რომელიც გამოიყოფა ორგანული ნაერთის ურთიერთქმედებით ტუტე ლითონთან ან ლითონის ჰიდრიდებთან.

ჰიდროქსიდის ჯგუფის ($-OH$) განსაზღვრა. მისი თვისებები დამოკიდებულია იმ ნაშთის ბუნებაზე, რომელთანაც იგია დაკავშირებული, ე.ი. სპირტი, ფენოლი და ა.შ. ჰიდროქსიდის ჯგუფის განსაზღვრის ზოგადი მეთოდია ეთერიფიკაცია. ეს რეაქცია OH -ისათვის სპეციფიკურად და სწრაფად მიმდინარეობს. რეაქცია შექცევადია, მისი რაოდენობრივად ჩატარება შეიძლება მხოლოდ წყლის

არარსებობის შემთხვევაში, რომელიც სარეაქციო ნარევიდან შთაინთქმება კარბონმჟავების ანჰიდრიდების საშუალებით. ფენოლს საზღვრავენ ბრომირებით ან აციდიმეტრიის მეთოდით.

ამინოჯგუფის ($-NH_2$) განსაზღვრა. ამინები, როგორც ფუძეები, შეიძლება გაიტიტროს წყლის გარემოში ან ორგანულ გამხსნელებში. ალიფატური ამინები საკმაოდ ძლიერ ფუძეებს წარმოადგენს, ამიტომ შეიძლება მათი წყლის არეში მჟავებით გატიტვრა. არომატულ ამინებს საზღვრავენ ბრომირების, დიაზოტირებისა და სხვა რეაქციებით.

ნიტროჯგუფის ($-NO_2$) განსაზღვრა. განსაზღვრის მეთოდები დამყარებულია ნიტრონაერთების ამინონაერთებამდე აღდგენის რეაქციაზე. რაოდენობრივი აღდგენისათვის რეაქციას მჟავა არეში ატარებენ. აღმდგენლებად იყენებენ ტიტანის ქლორიდს ($TiCl_3$), ვანადიუმის სულფატსა (VSO_4) და სხვა. აღდგენის პროცესების მიმდინარეობის პირობების დარღვევისას შეიძლება წარმოიქმნას ხელისშემშლელი თანაური რეაქციები.

კარბონილის ჯგუფის ($>C=O$) განსაზღვრა. ფართოდ გამოიყენება რეაქცია ჰიდროქსილამინთან ან მის მარილებთან. შედეგს გამოითვლიან დახარჯული ჰიდროქსილამინის რაოდენობით. იყენებენ სხვა რეაქციებსაც: ჰიდრაზინების წარმოქმნა, ბისულფიტის მიერთება, დაჟანგვა (ალდეჰიდებისათვის) და ა.შ.

საკონტროლო კითხვები

1. როგორია ცემენტის ანალიზის სქემა?
2. რა მაჩვენებლები ისაზღვრება წყლის ანალიზის დროს?
3. როგორ მუშაობს აირანალიზატორი?
4. დაახასიათეთ ორგანული ნივთიერებების ელემენტური და ფუნქციური ანალიზის არსი.
5. რაში მდგომარეობს ტექნიკური ანალიზის თავისებურება?

საკონტროლო კითხვები შერჩევითი პასუხებით

წინამდებარე კითხვები შედგენილია ტექნიკური უნივერსიტეტის და აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ქიმიის დეპარტამენტის სწავლების ტექნიკურ საშუალებებში შემავალი, საკონტროლო პროგრამების კითხვების ანალოგიურად.

პროგრამული კონტროლი, ავტორების აზრით უზრუნველყოფს:

1. სტუდენტთა დიდი რაოდენობის ერთდროულად შემოწმებას, რომლის დროსაც დაცულია ინდივიდუალური შემოწმების პრინციპი;
2. სასწავლო მასალის გარკვეული ნაწილის ათვისების სისრულის შემოწმებას;
3. ობიექტური ცოდნის შემოწმებას;
4. მაკონტროლებელი პროგრამის შემოწმებისათვის ძალისხმევისა და დროის მინიმალურ დანახარჯებს;
5. სტუდენტების მიერ მაკონტროლებელი პროგრამის შესრულების შედეგების ოპერატიულ მიღებას;
6. მოსწრების რაოდენობითი მაჩვენებლის არსებობას, რომელთა დამუშავებით შეიძლება დასკვნების გაკეთება, გადაწყვეტილების მიღება და მისი რეალიზაცია.

მაკონტროლებელ პროგრამებთან სტუდენტების მუშაობა კომპიუტერის გამოყენებით არის ორგანიზებული. სწავლების პროცესში კომპიუტერების დანერგვის შემდგომი ეტაპია მუშაობა შემსწავლელ პროგრამებთან, რომლებიც იგივე ფაქტიურ მასალაზე იქნება შედგენილი.

საჭიროდ მიგვაჩნია, მოცემული სახელმძღვანელოს ჩარჩოებში ილუსტრაციისათვის მოვიყვანოთ ალტერნატიული პასუხების მქონე მაკონტროლებელი კითხვების მაგალითები.

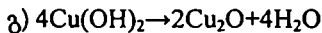
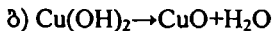
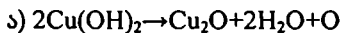
30 მაგალითი ეხება თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზის რიგ საკითხებს, რომელმაც უნდა შეუქმნას სტუდენტებს წარმოდგენა სწავლების ასეთი საშუალებების შესახებ. თითოეულ კითხვაზე

მოყვანილი პასუხების ვარიანტებიდან სწორია მხოლოდ ერთი და სტუდენტებმა საგნის თეორიული და პრაქტიკული ცოდნის საფუძველზე ეს ჭეშმარიტი პასუხი უნდა გამოიცნონ. სწორი პასუხების ნომრები მოყვანილია ბოლოში.

1. რომელ ჯგუფურ რეაგენტებს იყენებენ თვისებითი ანალიზის თვისებითი ანალიზის გოგირწყალბადოვან მეთოდში?
 - ა) HCl ; HNO_3 ; $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$; H_2SO_4 .
 - ბ) HCl ; H_2S ; $(\text{NH}_4)_2\text{S}$; $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.
 - გ) HCl ; $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$; HNO_3 ; $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.
2. რომელ ჯგუფურ რეაგენტებს იყენებენ თვისებითი ანალიზის მჟავურ-ტუტოვან მეთოდში?
 - ა) HCl , H_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.
 - ბ) HCl , HNO_3 ; $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$; NaOH .
 - გ) HCl , H_2SO_4 , NaOH (ან KOH), NH_4OH .
3. რამდენ ჯგუფად იყოფა იონები თვისებითი ანალიზის მჟავურ-ტუტოვან მეთოდში?
 - ა) 4, ბ) 5, გ) 6.
4. რაზეა დამყარებული იონების დაყოფა თვისებითი ანალიზის ამიაკურ-ფოსფატურ მეთოდში?
 - ა) ქლორიდების და ფოსფატობის განსხვავებულ ხსნადობაზე წყალში, მჟავებში, ტუტეებში და ამიაკის წყალხსნარში;
 - ბ) ქლორიდების, სულფატებისა და ჰიდროქსიდების განსხვავებულ ხსნადობაზე წყალში, ტუტეებში და ამიაკის წყალხსნარში;
 - გ) სულფატების, კარბონატების, ჰიდროქსიდების და ქლორიდების განსხვავებულ ხსნადობაზე მჟავებში.
5. რომელ შემთხვევაშია ეკვივალენტობის წერტილში $\text{pH} > 7$?
 - ა) ძლიერი მჟავას ძლიერი ფუძით გატიტრისას.
 - ბ) ძლიერი ფუძის სუსტი მჟავით გატიტრისას.
 - გ) სუსტი მჟავას ძლიერი ფუძით გატიტრისას.
6. რომელ შემთხვევაშია ეკვივალენტობის წერტილში $\text{pH} < 7$?

- ა) ძლიერი მჟავას ძლიერი ფუძით გატიტვრისას.
 ბ) სუსტი ფუძის ძლიერი მჟავით გატიტვრისას.
 გ) სუსტი მჟავას ძლიერი ფუძით გატიტვრისას.
7. როგორ გარემოში ტიტრავენ Ca^{2+} ედტა-ს ხსნარით ინდიკატორ მურექსიდის თანაობისას?
 ა) მჟავა; ბ) ტუტე; გ) ნეიტრალურ.
8. რომელი ნივთიერებების დამატება ხდება ტყვიის ქრომატის სრული დალექვისათვის?
 ა) CH_3COONa და CH_3COONH_4 .
 ბ) CH_3COOH და CH_3COONa .
 გ) CH_3COONH_4 და CH_3COOH .
9. თვისებითი ანალიზის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს
 ა) წარმოქმნილი ნალექის გამოყოფა.
 ბ) ქიმიური შედგენილობის დადგენა.
 გ) მიღებული ნივთიერების რაოდენობის განსაზღვრა.
10. ამონიუმის ოქსალატის ხსნარი კალციუმის Ca^{2+} წარმოქმნის კალციუმის ოქსალატის თეთრ ნალექს, კიდევ რომელ იონებთან წარმოქმნის გარეგნულად და თვისობრივად მსგავს ნალექს?
 ა) Sr^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{2+} .
 ბ) Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} .
 გ) Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} .
11. ტყვიის დიოქსიდი PbO_2 კონცენტრირებულ HNO_3 -ის თანაობისას და გაცხელებისას Mn^{2+} -იონს ქანგავს MnO_4^- -მდე. როგორ შეფერილობის და რომელი ნივთიერება წარმოიქმნება ამ დროს?
 ა) ჟოლოსფერი $HMnO_4$; ბ) უფერო H_2MnO_4 ; გ) თეთრი $Mn(OH)_2$.
12. კალციუმის იონის აღმოსაჩენად ღვინის მჟავას ნაცვლად, რომელი რეაქტივის გამოყენებაა უმჯობესი?
 ა) ნატრიუმის ჰიდროტარტრატი $NaHC_4H_4O_6$
 ბ) ამონიუმის ქლორიდი NH_4Cl
 გ) ნატრიუმის სულფატი Na_2SO_4

13. რომელ ნივთიერებას და როგორი ფერის ნალექს გამოლექავს კალიუმის ქრომატი ბარიუმის მარილებიდან?
- $BaCr_2O_7$ – ნარინჯისფერი
 - $BaCrO_4$ – ყვითელი
 - $Ba(HCr_2O_4)_2$ – თეთრი
14. იოდინი წყალი არსენიტებს ჟანგავს არსენატებად, რა ცვლილება შეიმჩნევა ამ დროს?
- იოდინი ხსნარი ლურჯდება
 - იოდინი ხსნარი უფერულდება
 - იოდინი ხსნარი ფერს არ იცვლის
15. ამონიუმის NH_4^+ –იონის აღმოჩენა ხდება ნესლერის რეაქტივით: ამ პროცესის დროს რისი გამოყოფა ხდება?
- თავისუფალი იოდის
 - კალიუმის იდიდის
 - არცერთის
16. სულფატ–იონის აღმოჩენა თვისებით ანალიზში ხდება ტყვიის (II) აცეტატით. როგორი შეფერილობისაა გამოყოფილი $PbSO_4$?
- ყვითელი
 - ლურჯი
 - თეთრი
17. ფოსფატ–იონის აღმოჩენის დროს გამოიყენება მაგნეზიალური ნარევი, როგორია მაგნეზიალური ნარევის შედგენილობა?
- $NH_4NO_3 + NH_4Cl + MgCl_2$
 - $NH_4OH + NH_4Cl + MgCl_2$
 - $NH_4OH + NH_4NO_3 + MgCl_2$
18. რომელი ნაერთების დამატება ხდება თუთიის Zn^{2+} –იონის აღმოჩენისას გოგირდწყალბადით, მისი სრული დალექვის მიზნით?
- CH_3COOH – ძმარმჟავის
 - CH_3COONa – ძმარმჟავა ნატრიუმის
 - CH_3COOK – ძმარმჟავა კალიუმის
19. არსენატ–იონის აღმოჩენისას სპილენძის სულფატის ამიაკური ხსნარით, რეაქციის ბოლოს ხდება სპილენძის ჰიდროქსიდის დაშლა. როგორი იშლება ამ დროს ეს ნაერთი?



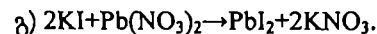
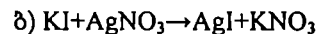
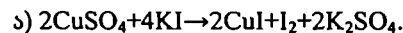
20. ბარიუმის სულფიდი მუფელში (ელექტროლუმელში) გამოწვისას იჟანგება ბარიუმის სულფატად, რა ჟანგავს BaS —ბარიუმის სულფიდს?

ა) ნახშირბადი, ბ) წყალბადი, გ) ჰაერის ჟანგბადი.

21. როდის დაემთხვევა ერთმანეთს ეკვივალენტობის წერტილი და ნეიტრალიზაციის წერტილი?

ა) $\text{pH}=7$ ბ) $\text{pH}=5$ გ) $\text{pH}=3$

22. მოცულობით ანალიზში ხშირად გამოიყენება ჟანგვა—აღდგენითი ოოდიმეტრია. ჩამოთვლილი ქიმიური განტოლებებიდან, რომელი შეესაბამება ამ მეთოდს?



23. სპექტრის მეორე მნიშვნელოვან მახასიათებლებს მასში ინტენსივობის განაწილება წარმოადგენს, რომელიც იზომება:

ა) მილიმიკრონებით ბ) ანგსტრემებით

გ) ერთეულ ფართზე გავლილი ენერგიის რაოდენობით

24. რის პროპორციულია ფოტოელექტრული ეფექტის დროს გამოტყორცნილი ელექტრონების სიჩქარე?

ა) დაცემული სხივის სიკაშკაშის

ბ) ხსნარში გასული სხივის ინტენსივობის

გ) ხსნარებიდან არეკლილი სხივის ინტენსივობის

25. ემისიურ სპექტრულ ანალიზში ნივთიერებების სპექტრის შესასწავლად სინჯს წვავენ ელექტრულ რკალში, რა სიდიდის ტემპერატურა ვითარდება ამ დროს?

ა) დაახლოებით $2000-3000^\circ\text{C}$

ბ) დაახლოებით $5000-7000^\circ\text{C}$

გ) დაახლოებით $7000-15000^\circ\text{C}$

26. რომელი კანონი უდევს საფუძვლად კოლორიმეტრიას?
 ა) დე-ბროილის კანონი, ბ) ბუგერ–ლამბერტ, ბერის კანონი
 გ) სტოლეთოვის კანონი.
27. რომელი ფორმულით გამოისახება ხსნარის ნორმალობასა და ტიტრს შორის დამოკიდებულება?
 ა) $T = N \cdot \frac{\varepsilon}{1000}$ ბ) $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_2}{V_1}$ გ) $lg \frac{I_i}{I_0} = \varepsilon c l$
28. რა ხდება მინის ელექტროდის ჩაშვებისას განსასაზღვრავ ხსნარში?
 ა) მემბრანის ზედაპირზე იონების მიმოცვლა;
 ბ) მემბრანის ზედაპირზე H^+ -იონების ადსორბცია;
 გ) ელექტრონების გადატანა.
29. რაზეა დამყარებული ატომურ-აბსორბციული მეთოდი?
 ა) აღზნებული ატომების მიერ სინათლის გამოსხივების ინტენსიურობის გაზომვაზე;
 ბ) იონიზებული ატომების მიერ სინათლის გამოსხივების ინტენსიურობის გაზომვაზე;
 გ) განსასაზღვრავი ელემენტის ატომების მიერ რეზონანსული გამოსხივების შთანთქმის გაზომვაზე.
30. მოყვანილი ტოლობებიდან რომელია ბუგერ–ლამბერტ ბერის კანონის მათემატიკური გამოსახულება?
 ა) $D = lg \frac{I_i}{I_0} = \varepsilon c l$ ბ) $I_i = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon c l}$ გ) $\frac{I_i}{I_0} = -\varepsilon c l$

სწორი პასუხები:

- 1-ბ; 2-გ; 3-გ; 4-ა; 5-გ; 6-ბ; 7-ბ; 8-ა; 9-ბ; 10-ბ; 11-ა; 12-ა; 13-ბ; 14-ბ;
 15-ბ; 16-გ; 17-ბ; 18-ბ; 19-ა; 20-გ; 21-ა; 22-ა; 23-გ; 24-ბ; 25-ბ; 26-ბ;
 27-ა; 28-ა; 29-გ; 30-ბ.

**ზოგიერთი ხსნარის
(რეაქტივების) მომზადება**

1. მარილმჟავა (HCl) - 0,1N ხსნარი.

8 მლ HCl ($\rho=1,19$) საზომ კოლბაში ანზავებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრ მოცულობამდე. HCl-ის ნორმალობას ადგენენ 0,1N სოდის (Na_2CO_3)-ის ფიქსონალის ხსნარით. გატიტვრას აწარმოებენ ინდიკატორის მეთილნარინჯის (1-2 წვეთი) თანაობისას ყვითელი ფერის ვარდისფერ-ნარინჯისფერში გადასვლამდე.

2. მარილმჟავა (HCl) - 1,0 N ხსნარი.

80 მლ HCl ($\rho=1,19$) საზომ კოლბაში ანზავებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე.

3. მარილმჟავა (HCl) - 10% ხსნარი.

241მლ კონცენტრირებულ HCl ($\rho=1,19$) 1 ლიტრიან საზომ კოლბაში მიიყვანენ ჭდემდე დისტილირებული წყლით.

4. მარილმჟავა (HCl) - 5% ხსნარი.

121 მლ კონცენტრირებულ HCl ($\rho=1,19$) ანზავებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე.

5. მარილმჟავა (HCl) - 0,3 N ხსნარი.

24 მლ კონცენტრირებულ HCl ($\rho=1,19$) ანზავებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე.

6. ნატრიუმის ჰიდროქსიდის (შწავვე ნატრის) - 0,1N ხსნარი.

ამზადებენ NaOH-ის ნაჯერ ხსნარს (100 გ 100 მლ დისტილირებული წყალთან) ხსნარს ტოვებენ (2-3 დღე) სანამ მთლიანად არ მივიღებთ გამჭირვალე ხსნარს. პიპეტით ფრთხილად ვიღებთ 7 მლ გამჭირვალე ხსნარს და მიგვყავს 1 ლ. მდე ახლად წამოდულებული დისტილირებული წყლით შუმის ჭურჭელში, რომელიც შეერთებულია სიფონიან ბიურეტთან. ხსნარის დასაცავად ჰაერიდან ნახშირმჟავისაგან, სიფონს უერთებენ კალციუმის ქლორიდის მილს ან სვეტს ნატრიუმის კირით.

ხსნარის ნორმალობას ადგენენ 0,1 N-ს გოგირდმჟავის ან მარილმჟავას ფიქსონალით. გატიტვრას აწარმოებენ ფენოლფტალეინის თანაობისას მკრთალ მოვარდისფრო შეფერილობამდე.

0,05 N NaOH-ის ხსნარის მოსამზადებლად 0,1 N-ის ხსნარიდან, ხსნარს ანზავებენ 2-ჯერ გადადუღებული დისტილირებული წყლით.

7. NaOH-ის 2 N ხსნარი.

აიღებენ 35 მლ ნაჯერ (გამჭირვალე) NaOH-ის ხსნარს და საზომ კოლბაში მიიყვანენ 250მლ-მდე. 1 N NaOH-ის ხსნარს ამზადებენ 2 N ხსნარისაგან ადუღებული დისტილირებული წყლით 2-ჯერ განზავებით.

8. გოგირდმჟავას 0,1 N ხსნარი.

აიღოთ 1 ლიტრიანი საზომი კოლბა, ასხამენ 400-500 მლ დისტილირებული წყალს, ფრთხილად ჭურჭლის კედლების ჩაყოლებით უმატებენ 2,7 მლ ქიმიურად სუფთა გოგირდმჟავას, ხსნარის მორევით და გაცივებით დისტილირებული წყლით მიჰყავთ ჭდემდე. ხსნარის ნორმალობას ამოწმებენ 0,1 N სოდის (Na_2CO_3)-ის ფიქსონალით მეთილნარინჯის ინდიკატორის თანაობისას, ნარინჯისფერის გადასვლით, ვარდისფერ - ნარინჯისფერისაკენ.

9. გოგირდმჟავას 2 N ხსნარი.

54 მლ. H_2SO_4 ($\rho = 1,84$) უმატებენ წყალს (დისტილირებულს) ინტენსიური გაცივების პირობებში და წყლის შეავსებენ 1 ლიტრამდე.

10. გოგირდმჟავას 3 N ხსნარი.

81 მლ. კონცენტრირებულ H_2SO_4 ($\rho = 1,84$) ასხამენ წყალში (დისტილირებულს) და წყლით შეავსებენ 1 ლიტრამდე.

11. გოგირდმჟავას 0,3 N ხსნარი.

8,1 მლ. კონცენტრირებულ H_2SO_4 ($\rho = 1,84$) ასხამენ წყალში (დისტილირებულს) და წყლით შეავსებენ 1 ლიტრამდე.

12. გოგირდმჟავას 10% ხსნარი.

60 მლ. კონცენტრირებულ H_2SO_4 ($\rho = 1,84$) ასხამენ დისტილირებულ (400-500მლ) წყალში, ერთ ლიტრიან კოლბაში გაცივებით შეავსებენ 1 ლიტრამდე. 5% გოგირდმჟავას ამზადებენ 10%-იანი ხსნარიდან 2-ჯერ განზავებით.

13. გოგირდმჟავას 20% ხსნარი.

120 მლ გოგირდმჟავას ასხამენ გაცივებით წყალში და შეავსებენ 1 ლიტრამდე.

14. გოგირდმჟავას 50% ხსნარი.

300 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას უმატებენ წყალს გაცივებით ფრთხილად, წყლით მიიყვანენ 1 ლიტრამდე.

15. ფენოლფტალინი 1% ხსნარი

1 გ ფენოლფტალეინს ხსნიან 100 მლ 96 % სპირტში.

16. მეთილნარინჯი 0,02 ხსნარი

0,02 მეთილნარინჯს ხსნიან 100 მლ ცხელ დისტილირებულ წყალში.

17. სახამებელი 1% ხსნარი.

1 გ გახსნილ სახამებელს აურევენ მცირე რაოდენობის ცივ დისტილირებულ წყალში და მცირე ულუფობით ასხამენ 100 მლ ადუღებულ დისტილირებულ წყალში. გაცივებისას გაფილტრავენ და ინახავენ დახურულ ჭურჭელში.

18. პერმანგანატი- 0,1 N ხსნარი

აიღებენ 3,16გ დაქუცმაცებულ კრისტალურ KMnO_4 და ხსნიან 1 ლიტრ დისტილირებულ წყალში შენჯღრევით (ლიტრიან საზომ კოლბაში). ხსნარს ინახავენ მუქ შუშაში. ხსნარის ნორმალობას ადგენენ 0,1N მჟაუნმჟავას ნატრიუმის ფიქსონალით. 25 მლ 0,1N $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ უმატებენ 10 მლ 10% H_2SO_4 -ის ხსნარს, აცხელებენ 70°C -) და გატიტრავენ პერმანგანატით ღია ვარდისფერ შეფერილობამდე.

0,01 N KMnO_4 -ის ხსნარს ამზადებენ 0,1 N KMnO_4 -ის ხსნარი-საგან, დისტილირებული წყლით 10-ჯერ განზავებით.

19. ნატრიუმის თიუსულფატი $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N ხსნარი.

248 გ. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ხსნაიან 1 ლიტრ ადუღებულ წყალში. ხსნარს აცივებენ, რამდენიმე დღე აყოვნებენ, სანამ მთლიანად ხსნარი გამჭირვალე არ გახდება. ხსნარი დაცული უნდა იყოს ჰაერის CO_2 - საგან.

ხსნარის ნორმალობას ადგენენ 0,1 N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -ის ფიქსონალის ხსნარის მეშვეობით. გატიტვრას აწარმოებენ შემდეგნაირად: 25 მლ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -ს დაუმატებენ 1 გ KI, შეამჯავებენ მარილმჟავით (5-10მლ 20% HCl) და განაზავებენ დისტილირებული წყლით 200 მლ-მდე. გამოყოფილ იოდს ტიტრავენ თიოსულფატით ღია ყვითელი შეფერილობის მიღებამდე, შემდეგ უმატებენ 1 მლ სახამებელის 1 %-იან ხსნარს და გატიტვრას აგრძელებენ შეფერილობის ღია მწვანე ფერში გადასვლამდე.

20. იოდი 0,1N ხსნარი.

12,7 გ კრისტალურ იოდს შეურევენ 25 გ. KI-ს დაუმატებენ მცირე რაოდენობის წყალს, ენერგიულად ანჯღრევენ იოდის სრულად გახსნამდე. შემდეგ შეავსებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე საზომ კოლბას. ხსნარის ნორმალობას ადგენენ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ის 0,1 N ხსნარით შემდეგნაირად: შლიფიან საცობიან ჭურჭრის 25 მლ იოდის ხსნარს შეამჯავებენ ძმარმჟავით (CH_3COOH), დაუმატებენ 1 გ KI-ს. ტოვებენ სიბნელეში 1 წუთით და გატიტრავენ ნატრიუმის თიოსულფატით $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ით ღია ყვითელი ფერის მიღებამდე. დაუმატებენ 1 მლ 1%-იან სახამებელის ხსნარს და აგრძელებენ გატიტვრას მოლურჯო ხსნარის გაუფერულებამდე.

იოდის 0,01N ხსნარს მიიღებენ 0,1N ხსნარის განზავებით 10-ჯერ.

21. იოდი 0,05N ხსნარი.

6,4 გ კრისტალურ იოდს შეურევენ 15 გ. KI-ს დაუმატებენ მცირე რაოდენობის წყალს, ენერგიულად ანჯღრევენ იოდის სრულად გახსნამდე. შემდეგ შეავსებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე საზომ კოლბას. ხსნარის ნორმალობას ად-

გენენ, როგორც 0,1N ხსნარის მომზადებისას არის აღწერილი.

22. ვერცხლის ნიტრატი $AgNO_3$ - 0,1N ხსნარი.

17 გ $AgNO_3$ -ს გახსნიან 1ლიტრ დისტილირებულ წყალში (მუქი ფერის შუშის ჭურჭელი) ნორმალობას ადგენენ $NaCl$ -ის - 0,1N ხსნარის ფიქსონალით ინდიკატორია ქრომმჟავა კალიუმში.

0,01N ხსნარს ამზადებენ 0,1N ხსნარის წყლით 10-ჯერ განზავებით.

23. აზოტმჟავა - 3% ხსნარი.

25 მლ კონცენტრირებულ აზოტმჟავას ($\rho = 1,42$) განაზავებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე.

24. აზოტმჟავა - 30% ხსნარი.

250 მლ კონცენტრირებულ აზოტმჟავას ($\rho = 1,42$) განაზავებენ დისტილირებული წყლით 1 ლიტრამდე.

25. კალიუმის ქრომატი - 10% ხსნარი.

10გ K_2CrO_7 ხსნიან 100 მლ დისტილირებულ წყალში.

26. ამონიუმის ქლორიდის NH_4Cl -ის 10% ხსნარი.

100გ ამონიუმის ქლორიდის NH_4Cl (ქიმიურად სუფთა) ხსნიან 1 ლიტრ დისტილირებულ წყალში.

27. ძმარმჟავის (CH_3COOH) -10% ხსნარი.

100 მლ ყინულოვან ძმარმჟავას შეავსებენ 1 ლ-მდე დისტილირებული წყლით.

ძმარმჟავის (CH_3COOH) -30% ხსნარი.

300 მლ ყინულოვან ძმარმჟავას შეავსებენ 1 ლ-მდე დისტილირებული წყლით.

28. ამიაკის (NH_4OH) -10% ხსნარი.

400 მლ კონცენტრირებულ ამიაკს ($\rho = 0,91$ გ) მიიყვანენ

29. კალიუმის ქლორიდის -ის 0,05მ. ხსნარი.

3,73 გ. KCl ხსნიან 1 ლ-მდე დისტილირებული წყლით.

30. აზოტმჟავას (HNO_3) - 0,2 N ხსნარი.

8 მლ აზოტმჟავას ($\rho = 1,42$ გ) შეავსებენ 1 ლ-მდე დისტილირებული წყლით.

1. დ.ერისთავი. თვისებითი ნახევრადმიკროანალიზი. თბილისი. საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამომცემლობა. 1960.
2. დ.ერისთავი. ანალიზური ქიმიის კურსი. თბილისი. საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამომცემლობა. 1964.
3. დ.ერისთავი. რაოდენობითი ანალიზი. თბილისი. საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამომცემლობა. 1973.
4. აბაშკო, ი. პიატნიცკი. რაოდენობითი ანალიზი. თბილისი. უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 1975.
5. ა.გოლუბევა. რაოდენობითი ანალიზი. თბილისი. უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 1962.
6. А.П. Крешков. Основы Аналитической химии. Т. 1,2,3 из «Химия» М., 1970.
7. Дж. Фритц, Г.Шенк. Количественный анализ «Мир» М. 1978г.
8. Гидрохимический институт. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ленинград 1977.
9. М.Булатов, И.Калинин. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа, из. «Химия». Ленинград. 1972.
10. И.Я.Гурецкий, В.В. Кузнецов и др. Практикум по физико – химическим методам анализа М. «Химия». 1987.
11. В.И. Посыпай, Н.А.Козырева, Ю.П.Логачева. Химические методы анализа М. «Высшая Школа» 1989.
12. В.Васильев. Аналитическая химия. Т.1. «Высшая школа» М. 1989.
13. В.Васильев. Аналитическая химия. Т.2. «Высшая школа» М. 1989.
14. В.А.Шаповалова, В.А. Заболотный и др. Формационный Анализ лекарственных средств. Харьков.ИМП «Рубикон» 1995.
15. З.А.Барсукова. Аналитическая химия М. «Высшая школа». 1990.
16. А.К.Бабко, А.Т.Пилипенко и др. Физико-химические методы анализа. М. «Высшая школа» 1968.
17. Г.Юинг. Инструментальные методы химического анализа. М. «Мир». 1989.

18. А.Г.Пилипенко, И.В.Пятницкий, Аналитическая химия. М. «Химия». 1990.
19. ლ.ბოკუჩავა. ანალიზური ქიმიის კურსი. თბილისი. ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2005.
20. ბ.ჭუმბურიძე წამალთა ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. თბილისი. 1970.

წინასიტყვაობა	3
შესავალი	5
თავი 1. ანალიზური ქიმიის თეორიული საკითხები	11
1.1. ხსნარები	11
1.2. ქიმიური წონასწორობა	24
1.3. ელექტროლიტური დისოციაცია	28
1.4. წყლის დისოციაცია	33
1.5. ბუფერული ხსნარები	36
1.6. მარილთა ჰიდროლიზი	39
1.7. ხსნადობის ნამრავლი. ნალექის წარმოქმნა და გახსნა	42
1.8. კომპლექსური ნაერთები	46
1.9. დაჟანგვა – აღდგენის რეაქციები	52
1.10. კოლოიდური ხსნარები	56
თავი 2. თვისებითი ანალიზი	60
2.1. თვისებითი ანალიზის მეთოდები და არსი	60
2.2. ანალიზური რეაქციის ჩატარების მეთოდები	61
2.3. ანალიზური რეაქციების სპეციფიკურობა და მგრძნობიარობა	64
2.4. თვისებითი ნახევრადმიკროანალიზის ლაბორატორიული მოწყობილობა	66
2.5. კათიონთა სისტემური თვისებითი ანალიზის მეთოდების მიმოხილვა	70
2.6. კათიონთა კერძო რეაქციები	78
2.6.1. კათიონების პირველი ანალიზური ჯგუფი Ag^+ , $[\text{Hg}]^{2+}$, Pb^{2+}	78
2.6.2. კათიონების მეორე ანალიზური ჯგუფი Sn^{2+} , Sn^{4+} , Sb^{3+} , Bi^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+}	81
2.6.3. კათიონების მესამე ანალიზური ჯგუფი Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}	85
2.6.4. კათიონების მეოთხე ანალიზური ჯგუფი Mn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+}	87
2.6.5. კათიონების სახით მეხუთე ანალიზური ჯგუფი AsO_3^{3-} , AsO_4^{3-} , Zn^{2+}	90
2.6.6. კათიონების მეექვსე ანალიზური ჯგუფი Na^+ , K^+ , NH_4^+	92
2.7. კათიონების წილადური ანალიზი	95
2.8. კათიონების სისტემური ანალიზი ფტალმჟავა მეთოდით	101

2.9. ანიონთა ანალიზი. ანიონთა ანალიზური ჯგუფები	105
2.9.1. პირველი ანალიზური ჯგუფის ანიონების რეაქციები	107
2.9.2. მეორე ანალიზური ჯგუფის ანიონების რეაქციები	116
2.9.3. მესამე ანალიზური ჯგუფის ანიონების რეაქციები	119
2.9.4. I, II და III ანალიზური ჯგუფების ანიონების წარუდგენის ანალიზი	121
თავი 3. რაოდენობითი ანალიზი	132
3.1. რაოდენობითი ანალიზის საგანი	132
3.2. ლაბორატორიული მოწყობილობა, ჭურჭელი	133
3.3. ანალიზის გრაფიკული (წონითი) მეთოდი	141
3.3.1. საკრისტალიზაციო წყლის განსაზღვრა $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ -ში	144
3.3.2. ბარიუმის განსაზღვრა	146
3.4. ანალიზის ტიტრირებადი (მოცულობითი) მეთოდი	149
3.5. სამუშაო ხსნარები და ეკვივალენტური წერტილი	152
3.6. ნეიტრალიზაციის მეთოდი	154
3.7. ხსნარში ტუტის შემცველობის განსაზღვრა	163
3.8. დაღეჭვისა და კომპლექსწარმოქმნის მეთოდები	169
3.8.1. არგენტომეტრია	170
3.8.2. მერკურმეტრია	172
3.8.3. კომპლექსონმეტრული მეთოდი	172
3.8.4. კალციუმის განსაზღვრა	175
3.9. ჟანგვა-აღდგენის (ოქსიდომეტრული) მეთოდი	177
3.9.1. პერმანგანომეტრია	178
3.9.2. იოდმეტრია	181
თავი IV. ანალიზის ინსტრუმენტული მეთოდები ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები	189
4.1. ფიზიკური მეთოდები	190
4.1.1. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ძირითადი დახასიათება	191
4.1.2. ემისიური სპექტრული ანალიზი	192
4.1.3. ალური ფოტომეტრია	197
4.1.4. ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრია	200
4.1.5. აქტივაციური ანალიზი	204
4.2. ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. ანალიზის ზოგადი დახასიათება	206
4.2.1. ნივთიერებათა დაცილებისა და კონცენტრირების მეთოდები. ქრომატოგრაფია	208

4.2.2. ექსტრაქციის მეთოდი	208
4.2.3. ქრომატოგრაფია	212
4.2.4. იონგაცვლითი ქრომატოგრაფია	217
4.2.5. აირ-ქრომატოგრაფია	221
4.3. ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდები	224
4.3.1. პოტენციომეტრია	224
4.3.2. pH-ის გაზომვის პოტენციომეტრული მეთოდი	226
4.3.3. პოტენციომეტრული განსაზღვრა იონსელექციური ელექტროდების გამოყენებით	228
4.3.4 პოტენციომეტრული გატიტცრა	230
4.3.5. პოლაროგრაფია	233
4.3.6. კულონმეტრია	238
4.4. ფოტომეტრული მეთოდები	239
4.4.1 - ელექტრომაგნიტური გამოსხივების შთანთქმა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კორპუსკულარულ- ტალღური ბუნება	247
4.4.2. შთანთქმის გაზომვა	253
4.4.3. ფოტოკოლორიმეტრი	255
4.4.4. სპექტროფოტომეტრია	260
4.5. ფოტომეტრული გაზომვების მაგალითები	267
თავი 5. ბუნებრივი და ტექნიკური ლბიექტების ანალიზი	275
5.1. სილიკატების ანალიზი	276
5.2. წყლის ანალიზი	278
5.3. აირების ანალიზი	282
5.4. ორგანულ ნივთიერებათა ანალიზი	285
საკონტროლო კითხვები შერჩევითი პასუხებით	289
ზოგიერთი ხსნარის (რეაქტივების) მომზადება	295
გამოყენებული ლიტერატურა	300