ი.ზედგინიძე

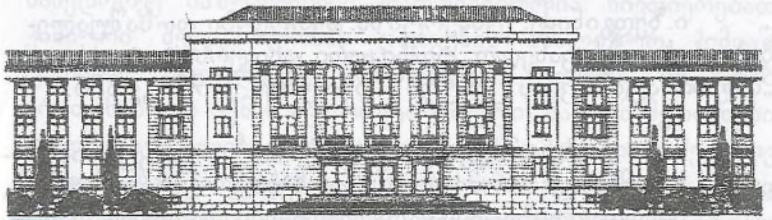
მექსპერტიზა

ცნებები და საშუალებები



-829-

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი



№ 829

ი. ზედგინიძე

ექსპერტიზა
მეთოდები და საშუალებები

სახელმძღვანელო

დამტკიცებულია სტუ-ს
სასწავლო-მეთოდური
საბჭოს მიერ

ტექნიკური უნივერსიტეტი
"ინფორმატიზაციის ცენტრი"
თბილისი 1999

უაკ 621.317 + 681.2 +543 (075.8)
ზ445

ი.ზედგინიძე. ექსპერტიზა: მეთოდები და საშუალებები. სახელმძღვანელო, ტექნიკური უნივერსიტეტი — „ინფორმატიზაციის ცენტრი". თბილისი, 1999, გვ.336.

ზ445

სახელმძღვანელო დაწერილია იმ კურსის შესაბამისად, რომელიც ეკითხებათ მეტროლოგიის, სტანდარტიზაციისა და ხარისხის მართვის სპეციალობის სტუდენტებს. მასში განხილულია კვებისა და ფარმაცევტული მრეწველობის პროდუქციის ექსპერტიზაში გამოყენებული მეთოდები და საშუალებები. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა საექსპერტო ლაბორატორიებში და მათ შორის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეტროლოგიის, სტანდარტიზაციის, სერთიფიკაციის და საზომი ტექნიკის დეპარტამენტის საექსპერტო ლაბორატორიებში ამჟამად გამოყენებულ საზომ საშუალებებს, მათი აწყობის, შემოწმების და პრაქტიკული გამოყენების საკითხებს.

წიგნი სასარგებლო იქნება მონათესავე სპეციალობების სტუდენტების, მაგისტრანტების, ასპირანტების, აგრეთვე სხვადასხვა დარგში საექსპერტო ლაბორატორიების მუშაკებისათვის.

ISBN 99928-18-05-0

რეცენზენტები:
საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, ტ.მ.დ., პროფ. *ვ.ჭავჭანიძე*
საქართველოს საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსი, სახელმწიფო პრემიის ლაურეატი ტ.მ.დ., პროფ. *ვ.დოლიძე*

ISBN 99928-18-05-0

© ტექნიკური უნივერსიტეტი-
„ინფორმატიზაციის ცენტრი"

შესავალი

ანალიზურ ხელსაწყოთმშენებლობაში გაზომვის თანამედროვე საშუალებები დაფუძნებულია ნივთიერებათა ქიმიური შედგენილობის დადგენის ანალიზურ ქიმიაში ცნობილ მეთოდებზე. სხვადასხვა მეთოდი შეიძლება არათანაბრად იქნეს ავტომატიზებული, მაგრამ მეთოდების ცოდნა აუცილებელია როგორც გაზომვის თანამედროვე საზომი საშუალებების მუშაობის პრინციპის გასაგებად, ისე ახალი პერსპექტიული მიმართულებების დამუშავებისათვის სხვადასხვა მეთოდების კომბინირების გზით.

ნივთიერებების ან მათი ნარევის ქიმიური შედგენილობის დადგენა წარმოადგენს ანალიზური ქიმიის ამოცანას. ჩვეულებრივ ჯერ საზღვრავენ ნივთიერების თვისებრივ შედგენილობას, ე. ი. რა ელემენტების, ელემენტების ჯგუფების ან იონებისაგან შედგება ნივთიერება, ხოლო შემდეგ იწყებენ რაოდენობითი შედგენილობის განსაზღვრას — იგებენ რა რაოდენობითაა გამოვლენილი შემადგენელი ნაწილები აღნიშნულ ნივთიერებაში.

ნივთიერების შედგენილობაში შემავალი ცალკეული ელემენტების ან იონების გამოვლენა, მათი იდენტიფიკაცია წარმოადგენს თვისებითი ანალიზის ამოცანას. გამოსაკვლევი ნივთიერების ცალკეული შემადგენელი ნაწილების რაოდენობრივი შედგენილობის განსაზღვრა წარმოადგენს რაოდენობითი ანალიზის ამოცანას.

ბუნებრივია, რომ თვისებითი ანალიზი წინ უნდა უსწრებდეს რაოდენობითს. თვისებით ანალიზს მიმართავენ მაშინ, როდესაც გამოსაკვლევ ნივთიერებაში განისაზღვრება იმ შემადგენელი ნაწილის პროცენტული შემცველობა, რომლის არსებობა ნივთიერებაში წინასწარ ცნობილია. ეს იმით აიხსნება, რომ, თუ გვეცოდინება რა ელემენტები და იონები არსებობს გამოსაკვლევ ნივთიერებაში, შევძლებთ მოცემული შემადგენელი ნაწილის რაოდენობითი განსაზღვრის უფრო მოსახერხებელი მეთოდის შერჩევას.

თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზი ანალიზური ქიმიის (მეცნიერება ნივთიერების გამოკვლევის მეთოდების შესახებ) ორი ძირითადი ნაწილია.

1. თვისებითი ანალიზი

თვისებითი ანალიზი სხეულების თვისებრივი ქიმიური შედგენილობის დადგენის მეთოდების ერთობლიობაა. თვისებითი ანალიზის ყოველი მეთოდის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს: *სპეციფიკურობა* და *მგრძნობიაროობა*. სპეციფიკურობა ახასიათებს საძიებელი ელემენტის გამოვლენის შესაძლებლობას სხვა ელემენტების არსებობისას, მაგალითად, რკინისა — მანგანუმის, ქრომის, ვანადიუმის, კაჟბადის და სხვათა არსებობისას. მგრძნობიაროობა ახასიათებს ელემენტის იმ უმცირეს რაოდენობას, რომელიც შეიძლება აღმოჩენილი იქნეს მოცემული მეთოდით. თანამედროვე მეთოდებისათვის მგრძნობიაროობა გამოისახება 1 მკგ-ის (გრამის მემილიონედი ნაწილის) რიგის სიდიდით.

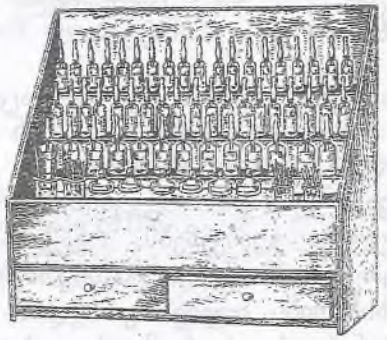
თვისებითი ანალიზისათვის წარმატებით გამოიყენება ქიმიური, ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები.

თვისებითი ანალიზის ქიმიური მეთოდების დროს მოსაძებნი ელემენტი ან იონი გადაჰყავთ რომელიმე ნაერთში, რომელსაც გააჩნია ესა თუ ის მახასიათებელი თვისება, რომლის მიხედვითაც შეგვიძლია დავადგინოთ ამ ნაერთის წარმოქმნა. ამ დროს მიმდინარე ქიმიურ გარდაქმნას ანალიზური რეაქცია ეწოდება, ხოლო მის გამომწვევ ნივთიერებას — რეაქტივი ან რეაგენტი.

იმის და მიხედვით, ნივთიერებათა რა რაოდენობებით ოპერირებენ ანალიზური რეაქციების შესრულებისას, ასხვავებენ ანალიზის მიკრო-, მაკრო-, ნახევრად მიკრო-, ულტრამიკრო- და სუბმიკრო მეთოდებს. მაკრომეთოდით ანალიზისათვის გვესაჭიროება 0,1 გ და მეტი ნივთიერება, ნახევრად მიკრომეთოდით — 0,1 ... 0,01 გ, მიკრომეთოდით— 0,01 ... 10^{-3} გ, ულტრამიკრომეთოდით — 10^{-6} გ, სუბმიკრომეთოდით— 10^{-9} გ, ულტრამიკრო- და სუბმიკრომეთოდები გამოიყენება მხოლოდ სპეციალურ შემთხვევებში, როდესაც საანალიზო ნივთიერების რაოდენობა ძალიან მცირეა, ასე, მაგალითად, მეთოდი, რომლის დროსაც მოიხმარენ 10^{-9} გ და ნაკლებ ნივთიერებას, გამოიყენება სხვადასხვა ბიოლოგიური სინჯების, მაღალი რადიოაქტიურობის, მაღალი ტოქსიკურობის მქონე პრეპარატების ანალიზის დროს. ასეთი ანალიზის ჩატარება მოითხოვს განსაკუთრებულ ჩვევებს, მისი შესრულების ტექნიკა მნიშვნელოვნად რთულდება — ანალიზურ ოპერაციებს აწარმოებენ სპეციალური მანიპულატორებით და მიკროსკოპის ქვეშ.

ანალიზს ჩვეულებრივ ატარებენ მაკრო- , ნახევრად მიკრო- და უფრო იშვიათად მიკრომეთოდებით. თვისებითი ანალიზის ამ ქიმიურ მეთოდებს შორის განსხვავება მდგომარეობს არა იმაში, თუ ნივთიერების რა რაოდენობა, არამედ, რა ხერხები და ხელსაწყოები გამოიყენება ანალიზის დროს.

ნახევრად მიკროანალიზის დროს ძირითადად შენარჩუნებულია მაკროანალიზის რთული სისტემა იონების თანამიმდევრული დაცალკევებითა და აღმოჩენით (თუმცა მეთოდები და აპარატურა სპეციფიკურია).



ნახ. 1. გადასატანი ყუთი-შტატივი რეაქტივებით

ნახევრად მიკრომეთოდით მუშაობისათვის ლაბორატორიაში უნდა გვქონდეს შემდეგი მოწყობილობა: გადასატანი ყუთი-შტატივი რეაქტივებით (ნახ.1); შტატივი სინჯარებისათვის; ლითონის შტატივი რგოლით, ფაიფურის სამკუთხედითა და დააზბესტებული ბადით; საჭერები სინჯარებისათვის; სინჯარები ცენტრიფუგირებისათვის (ნახ.2); ცილინდრული სინჯარები; კაპილარული პიპეტები (ნახ.3); მინის წკირები (ნახ.4); ფაიფურის ჯამები დიამეტრით 3...5 სმ; სარეცხელა (ნახ.5); სასაგნო მინები; ფაიფურის საწვეთე ფირფიტა (ნახ.6); სასაგნო მინები ჩაღრმავებებით (ნახ.7); მრგვალჯაგრისი ჭურჭლის რეცხვისათვის; წყლის აბაზანა (ნახ.8); ცენტრიფუგა (ნახ.9); მიკროსკოპი (ნახ.10).



ნახ.2. სინჯარა ცენტრიფუგირებისათვის



ნახ.3. კაპილარული პიპეტები

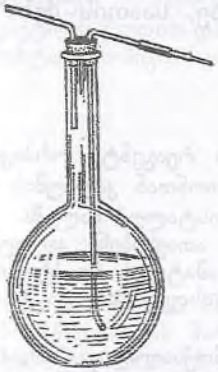


ნახ.4. მინის წკირები

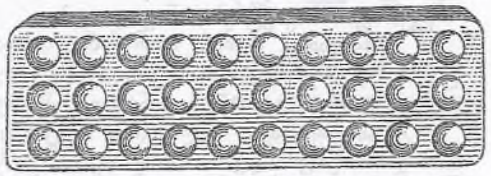
მიკროანალიზის დროს სხვა სიტუაციაა, აქ ფართოდ გამოიყენება რეაქციის შესრულება ან წვეთოვანი ან მიკროკრისტალოსკოპული მეთოდებით.

წვეთოვანი მეთოდით რეაქციის შესრულებისას, როგორც დასახელება გვიჩვენებს, რეაქცია მიმდინარეობს ხსნარის წვეთებს შორის, ურთიერთმორეაგირე ნივთიერებების ხსნარებს იღებენ ერთიდან რამდენიმე წვეთამდე. იყენებენ რეაქციას, რომელსაც ახლავს ხსნარის შეფერვის ცვლილება ან შეფერილი ნალექის წარმოქმნა.

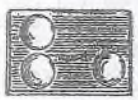
რეაქციას ხშირად ატარებენ საფილტრავი ქაღალდის ზოლზე, რომელზეც გარკვეული თანამიმდევრობით წვეთწვეთად დააქვთ გამოსაკვლევი ხსნარი და რეაქტივები.



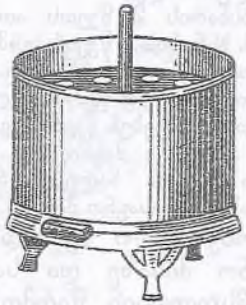
ნახ.5. სარეცხელა



ნახ.6. ფაიფურის საწვეთე ფირფიტა



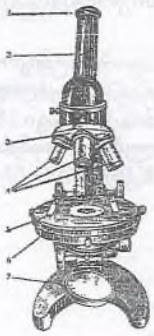
ნახ.7.სასაგნო მინა ჩაღრმავებებით



ნახ.8. წყლის აბაზანა



ნახ.9. ცენტრიფუგა



ნახ.10. მიკროსკოპი МБИ-3.
1 - okულარი; 2 - ტუბუსი; 3 - რევოლვერული სისტემა; 4 - ობიექტივები; 5 - კლემები; 6 - სასაგნო მაგიდა; 7-სარკე

რეაქციის შედეგად ქაღალდზე წარმოიქმნება შეფერილი ლაქა, რომლის ფერის მიხედვითაც მსჯელობენ გამოსაკვლევ ხსნარში საძიებელი იონის არსებობაზე. წვეთოვანი რეაქციები შეიძლება აგრეთვე შესრულდეს ჩაღრმავების მქონე სპეციალურ საწვეთე ფირფიტაზე, საათის მინაზე, ფაიფურის ტიგელში და ა. შ.

წვეთოვანი რეაქციების მაგალითები:

კალიუმის იონის აღმოჩენა. ორგანული რეაგენტი ორპიკრილამინი $[C_6H_2(NO_2)_3]_2NH$ გვაძლევს კალიუმის იონთან კალიუმის მარილის $[C_6H_2(NO_2)_3]_2NK$ ნარინჯისფერ-წითელ კრისტალურ ნალექს.

საფილტრავი ქაღალდის ფურცელზე ათავსებენ კალიუმის მარილის ნეიტრალური ხსნარის 1 წვეთს და ამატებენ რეაქტივის 1 წვეთს. საფილტრავ ქაღალდზე მიიღება ნარინჯისფერ-წითელი ფერის ლაქა.

კალციუმის იონის აღმოჩენა. ამონიუმოქსალატი $(NH_4)_2C_2O_4$ ნეიტრალურ ან სუსტ მჟავა ხსნარებში გვაძლევს კალციუმოქსალატის CaC_2O_4 თეთრ წვრილკრისტალურ ნალექს.

კალციუმქლორიდის ხსნარის 2 წვეთს ათავსებენ სინჯარაში, ამატებენ ამონიუმოქსალატის ხსნარის 2 წვეთს. გამოიყოფა ნალექი.

მაგნიუმის იონის აღმოჩენა. იოდური წყალი ტუტის თანხლებით ქმნის მაგნიუმის იონებთან წითელ-რუხი ფერის ნალექს.

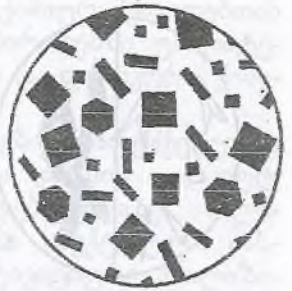
იოდური წყლის 2 წვეთს ამატებენ წვეთ-წვეთად ტუტის ხსნარს გაუფერულებამდე. შემდეგ ამატებენ მაგნიუმის მარილის 1 წვეთს. წარმოიქმნება წითელ-რუხი ფერის ნალექი. რეაქცია უმჯობესია ჩატარდეს საწვეთე ფირფიტაზე ან სასაგნო მინაზე.

მიკროკრისტალოსკოპული მეთოდის დროს რეაქციას ატარებენ სასაგნო მინაზე და საძიებელი იონის (ელემენტის) შესახებ მსჯელობენ წარმოქმნილი კრისტალების ფორმის მიხედვით (მათი განხილვა წარმოებს მიკროსკოპით).

მიკროკრისტალოსკოპული რეაქციების მაგალითები:

კალიუმის იონის აღმოჩენა. ნატრიუმის, ტყვიისა და სპილენძის სამმაგი ნიტრიტი $Na_2Pb[Cu(NO_2)_6]$ რეაგირებს კალიუმის მარილებთან დამახასიათებელი შავი ან ყავისფერი კუბური კრისტალების $K_2Pb[Cu(NO_2)_6]$ წარმოქმნით.

სასაგნო მინაზე დააქვთ კალიუმის მარილის (მაგალითად, *KCl*) ხსნარის 1 წვეთი და ფრთხილად აორთქლებენ მას. გაცივებულ ნალექს ამუშავებენ რეაქტივის წვეთით და ათვალიერებენ კრისტალებს მიკროსკოპის ქვეშ.



ნახ.11. $K_2Pb[Cu(NO_2)_6]$ კრისტალები

ნატრიუმის იონის აღმოჩენა. ურანილაცეტატი $UO_2(CH_3COO)_2$ ქმნის ნატრიუმის მარილების ხსნარებში ნატრიუმურანილაცეტატის $Na[(UO_2)(CH_3COO)_3]$ მოყვითალო კრისტალებს (ტეტრაედრებს).

სასაგნო მინაზე ათავსებენ ნატრიუმის მარილის (მაგალითად, *NaCl*) 1 წვეთს, ამატებენ ძმარმჟავას 1 წვეთს და აორთქლებენ. მშრალ ნარჩენს ამუშავებენ რეაქტივის ორი წვეთით და გაცივების შემდეგ ათვალიერებენ გამოყოფილ კრისტალებს მიკროსკოპის ქვეშ.



ნახ.12. $Na[(UO_2)(CH_3COO)_3]$ კრისტალები

თუთიის იონის აღმოჩენა. ამონიუმის ტეტრაროდანოჰიდრარჰიდრატი $(NH_4)_2[Hg(SCN)_4]$ ქმნის თუთიის იონებთან ნეიტრალურ ან სუსტ მჟავა ხსნარში უფერულ კრისტალებს ჯვრებისა ან დენდრიტების სახით (ნახ.13,ბ). თუ ხსნარში მინერალური მჟავის დიდი რაოდენობაა, ხოლო თუთიის მარილები შედარებით ნაკლები, კრისტალები გამოიყოფა სოლების სახით (ნახ.13,ა).



ნახ.13. $Zn[Hg(SCN)_4]$ კრისტალები

სასაგნო მინაზე ათავსებენ თუთიის მარილის ხსნარის 1 წვეთს, ოდნავ აორთქლებენ და შეამჟავებენ განზავებული ძმარმჟავას წვეთით. მაშინათვე ამატებენ რეაქტივის 1 წვეთს. გამოყოფილ კრისტალებს ათვალიერებენ მიკროსკოპის ქვეშ.

მაგნიუმის, კალციუმის არსებობას საზღვრავენ შესაბამისი კრისტალოსკოპული რეაქციების შედეგად გამოყოფილი კრისტალების ფორმის მიხედვით (ნახ.14, 15).



ნახ.14. $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ კრისტალები



ნახ.15. თაბაშირის კრისტალები $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

მიკროკრისტალოსკოპული რეაქციები მეტწილად ძალიან მგრძნობიარეა. ამ რეაქციების დროს განსასაზღვრავი ელემენტის მინიმუმი იზომება მიკროგრამის მეათედებითა და მეასედებით და ზოგჯერ აღწევს მის მეათიათასედ ნაწილს.

თვისებითი ანალიზის ქიმიური მეთოდები ყოველთვის არ აკმაყოფილებს მეცნიერებისა და ტექნიკის მზარდ მოთხოვნებს მგძნობიარობის, ანალიზის შედეგების მიღების

სისწრაფის თვალსაზრისით. ამიტომ ქიმიურ მეთოდებთან ერთად, განსაკუთრებით საწარმოო პირობებში უპირატესად გამოიყენება ანალიზის ფიზიკური და ფიზიკურ - ქიმიური მეთოდები.

ანალიზის ფიზიკური მეთოდები დაფუძნებულია ნივთიერების ქიმიურ შედგენილობასა და მის ცალკეულ ფიზიკურ თვისებებს შორის დამოკიდებულებაზე. ანალიზის ფიზიკურ მეთოდებს მიეკუთვნება სპექტრული, მასსპექტრული, ლუმინესცენციური, აქტივაციური ანალიზი. სპექტრული ანალიზის დროს გამოსაკვლევ ნივთიერებაში ამა თუ იმ ელემენტის არსებობის შესახებ მსჯელობენ გამოსხივების სპექტრში ტალღების გარკვეული სიგრძის მესატყვისი ხაზების არსებობის მიხედვით; მას-სპექტრული ანალიზის დროს — წინასწარ იონიზებული გამოსაკვლევი ნივთიერების მას-სპექტრების ხასიათის მიხედვით; ლუმინესცენციური ანალიზის დროს — განსასაზღვრავი ნივთიერების ლუმინესცენციის (ნათების) მიხედვით მისი ულტრაიისფერი სხივებით განათების შემდეგ; აქტივაციური ანალიზის დროს — გამოსხივების ენერგიისა და იმ რადიოაქტიური იზოტოპების ნახევრად დაშლის პერიოდის მიხედვით, რომლებიც მიიღება გამოსაკვლევ ნივთიერებაში მისი დასხივების (აქტივაციის) შედეგად ბირთვული ნაწილაკებით ან ხისტი γ — სხივებით.

თვისებით ანალიზში გამოყენებული ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებიდან პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს ქრომატოგრაფიული მეთოდი.

ვინაიდან ზემოთ ხსენებული ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები საშუალებას გვაძლევს არა მარტო თვისებრივად აღმოვაჩინოთ ცალკეული ელემენტების ან იონების არსებობა, არამედ განვსაზღვროთ ისინი რაოდენობრივადაც, უფრო დეტალურად ამ მეთოდებს გავეცნობით რაოდენობითი ანალიზის მეთოდების განხილვისას.

2. რაოდენობითი ანალიზი

რაოდენობითი ანალიზი—ესაა სხეულების რაოდენობრივად განსაზღვრის მეთოდების (ე.ი. გამოსაკვლევ ნივთი-

ერებაში ძყოფ ქიძიურ ელეძენტებსა და ცალკეულ ნაერთებს შორის რაოდენობრივი თანაფარდობების განსაზღვრის მეთოდების) ერთობლიობა. რაოდენობითი ანალიზის ყოველი მეთოდის უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს სპეციფიკურობისა და მგრძნობიარობის გარდა წარმოადგენს სიზუსტე. ანალიზის სიზუსტე გამოისახება ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელობით, რომელიც მეტწილად არ უნდა აჭარბებდეს 1—2 %-ს. მგრძნობიარობას ოდენობით ანალიზში გამოსახავენ პროცენტებში.

რაოდენობითი ანალიზი წარმოადგენს კომპონენტების რაოდენობრივი თანაფარდობების განსაზღვრის ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკური მეთოდების ერთობლიობას.

2.1. რაოდენობითი ანალიზის ქიმიური მეთოდები

რაოდენობითი ანალიზის ქიმიურ მეთოდებს საფუძვლად უდევს იგივე ქიმიური რეაქციები, რომლებიც გამოიყენება თვისებით ანალიზში; აუცილებელია მხოლოდ, რომ გასაზომი სიდიდე რაოდენობრივად დაკავშირებული იყოს განსასაზღვრავი ნივთიერების რაოდენობასთან.

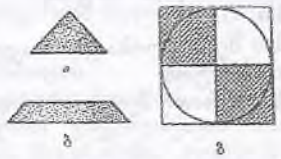
რაოდენობითი ანალიზის კლასიკურ ქიმიურ მეთოდებს მიეკუთვნება: გრავიმეტრიული და მოცულობითი ანალიზები.

2.1.1. გრავიმეტრიული ანალიზი

გრავიმეტრიული (წონითი) ანალიზი დაფუძნებულია განსასაზღვრავი ნივთიერების მასის ზუსტ გაზომვაზე. გრავიმეტრიული ანალიზის დროს გამოსაკვლევი ნივთიერების გარკვეული აწონილი რაოდენობიდან (წონაკიდან) გამოყოფენ უშუალოდ (მაგალითად, წყლის გამოყოფა გახურებით) ან სათანადო ქიმიური რეაქციების საშუალებით ნალექის სახით საძიებელ შემადგენელ ნაწილს ან სუფთა სახით, ან ზუსტად ცნობილი მუდმივი შემადგენლობის ნაერთის სახით. წონაკის სიდიდის, გამოყოფილი ნივთიერების წონისა და მისი შედგენილობის მიხედვით შეიძლება გამოითვალოს საწყის ნივთიერებაში საძიებელი შემადგენელი ნაწილის შემცველობა.

გრავიმეტრიული რაოდენობითი ანალიზის დროს ძირითადი ზოგადი ოპერაციებია: ნივთიერების მომზადება ანალიზისათვის, წონაკის აღება, გახსნა და დალექვა, ნალექის გაფილტვრა და ჩარეცხვა, ნალექიანი ფილტრის გამრობა, გახურება (გავარვარება) და, ბოლოს, ნალექის წონის განსაზღვრა. შემდეგ აწარმოებენ გამოთვლებს.

ნივთიერების მომზადება ანალიზისათვის შეიცავს ნივთიერების საშუალო სინჯის აღებას. სინჯის ზომა დამოკიდებულია მისი ნატეხების სიდიდეზე. სინჯის ზომის შემცირება წარმოებს დაწვრილმანებისა და უფრო მცირე სინჯის აღების თანამიმდევრული მონაცვლეობით. ამისათვის მორიგი დაწვრილმანების შემდეგ სინჯს განალაგებენ



ნახ.16. პირველადი სინჯის მომზადების სქემა:
ა - დაწვრილმანებული და შერეული მასალა; ბ - კვადრატის ან წრის სახით გაშლილი მასალის თხელი ფენა; გ - ოთხ სექტორად დაყოფილი მასალა

ბრტყელი გროვის სახით (ნახ.16), შემდეგ ყოფენ ოთხ ტოლ ნაწილად და იღებენ ოთხიდან ორ მოპირდაპირე ნაწილს. სინჯის ასეთნაირად გადარჩეულ ნაწილებს კვლავ აწვრილმანებენ. ეს პროცედურა გრძელდება მანამ, სანამ საშუალო სინჯი არ აღმოჩნდება დაწვრილმანებული ქვიშის მარცვლის ზომამდე ან ფხვნილამდე.

იციან რა მიახლოებით, რამდენია გამოსაკვლევ ნიმუშში განსასაზღვრავი შემადგენელი ნაწილი, გამოითვლიან, რა რაოდენობის ნივთიერება უნდა აიღონ ანალიზისათვის, ანუ როგორი წონაკი უნდა აიღონ. გამოთვლა უნდა უსწრებდეს ანალიზს, რომ არ მოხდეს გავარვარებული ნალექის ძალიან მცირე ან ძალიან დიდი რაოდენობის წარმოქმნა. ფილტრებთან მუშაობისას იღებენ ისეთ წონაკს, რომ გავარვარებული ნალექის მასა 0,10···0,15 გ რიგისა

იყოს; ძალიან მძიმე ნალექებისათვის (მაგალითად, $BaSO_4$-სათვის) დასაშვებია ავიღოთ 0,2···0,5 გ.

გამოვიანგარიშოთ, მაგალითად, საორიენტაციოდ არა უმეტეს 60% ბარიუმის შემცველი ბარიუმქლორიდის მარილის რა წონაკი უნდა ავიღოთ მასში ბარიუმის პროცენტული შემცველობის ზუსტი განსაზღვრისათვის, თუ ბარიუმის დალექვა ხორციელდება $BaSO_4$-ის სახით გოგირდმჟავათი და $BaSO_4$-ის გავარვარებული ნალექის მასა არ უნდა აღემატებოდეს 0,5 გ (თანახმად ზემოთ მოყვანილი რეკომენდაციისა).

137,4 გ ბარიუმია $BaSO_4$-ის 233,4 გ-ში,

x " " 0,5 გ-ში,

საიდანაც

$$x = \frac{0,5 \cdot 137,4}{233,4} = 0,2943 \text{ გ } Ba.$$

ვინაიდან ბარიუმის შემცველობა გამოსაკვლევ მარილში საორიენტაციოდ 60%-ის ტოლია, ამიტომ

100 გ ბარიუმქლორიდი შეიცავს ბარიუმის 60 გ,

y " " " " 0,2943 გ,

საიდანაც

$$y = \frac{100 \cdot 0,2943}{60} = 0,4905 \text{ გ}$$ ბარიუმქლორიდს.

აღებული წონაკის სიდიდე განისაზღვრება აწონვით აწონვისათვის განკუთვნილ სპეციალურ სინჯარებში. მასა განისაზღვრება გრამის მეათიათასედის სიზუსტით ანალიზური სასწორის საშუალებით.

აღებულ წონაკს გამოსაკვლევი ნივთიერების მიხედვით ხსნიან წყალში, მჟავებში (მარილმჟავა, აზოტმჟავა და სხვ.). ძალიან ბევრი მინერალი, მაგალითად, სილიკატები არ იხსნება მჟავებში (გარდა წყალბადფთორმჟავასი). იმისათვის, რომ გადაიყვანონ ისინი ხსნად მდგომარეობაში, ახორციელებენ ნივთიერების წონაკის შელღობას სოდასთან ან სოდისა და პოტაშის ნარევთან. ამ დროს მიღებული დნობილის დაშლა ადვილად ხორციელდება მარილმჟავათი.

ზემოთ განხილულ მაგალითში ბარიუმქლორიდის მარილის 0,4905 გრამის ტოლ წონაკს ხსნიან წყალში. ბუხებრივია, წყალხსნარი შეიცავს ბარიუმის იმ რაოდენობას, რომელიც გვქონდა წონაკში— საორიენტაციოდ 0,2943 გ *Ba*.

ხსნარის მიღების შემდეგ გრავიმეტრიული ანალიზის დროს ახორციელებენ შემადგენელი ნაწილების გამოყოფას ამა თუ იმ რეაქციებით. დასალექი ელემენტების მიხედვით გამოიყენება სხვადასხვა მჟავები, გოგირდწყალბადი, ამიაკი და ა.შ. პირობები, რომლებშიც ხორციელდება დალექვა, ე.ი. რეაქტივების მისხმის მიმდევრობა, მათი რაოდენობა და კონცენტრაცია, ტემპერატურა და დალექვის დრო, ჩვეულებრივ, აღნიშნულია ანალიზის მეთოდის აღწერილობაში. აუცილებელია სავსებით ზუსტად, ყოველგვარი გადახრების გარეშე, დავიცვათ ანალიზის შესრულების აღწერილობაში ნაჩვენები წესი და მიმდევრობა. დალექვის შემდეგ ხსნარი გარკვეული დროის განმავლობაში და გარკვეული ტემპერატურის პირობებში უნდა შევინარჩუნოთ იმისათვის, რომ ნალექი „დამწიფდეს".

ბარიუმქლორიდის წყალხსნარიდან ბარიუმის დალექვა ბარიუმის გამოყოფის მეთოდის ცნობილი აღწერილობის მიხედვით განვახორციელოთ გოგირდმჟავას 0,5 ნ ხსნარით. გამოვთვალოთ ამ ხსნარის მოცულობა, რომელიც აუცილებელია ხსნარში მყოფი ბარიუმის მთელი რაოდენობის დალექვისათვის. რეაქციის თანახმად ბარიუმის ერთ გრამ - ატომზე (137,4 გ) უნდა ავიღოთ გოგირდმჟავას 1 გრამ-მოლეკულა[1] ან 2 გრამ - ეკვივალენტი[2],

[1] გრამ-მოლეკულა (გრამ-ატომი, გრამ-იონი) ნივთიერების რაოდენობაა გრამებში, რომელიც შეიცავს მოცემული ნივთიერების $6,02 \cdot 10^{23}$ (ავოგადროს რიცხვი) მოლეკულას (შესაბამისად ატომს, იონს) და რიცხობრივად მოცემული მოლეკულური (ატომური) წონის ტოლია, მაგალითად, H_2SO_4 -ის 1 გრამ-მოლეკულის მასაა 98,082 გ (H_2SO_4 -ის მოლ. წონა=98,082) და შეიცავს H^+-ის 2 გრამ-იონს, რომელთა მასაცაა $2 \cdot 1,0080 = 2,0160$ გ (H -ის ატომური წონაა 1,0080) და, გარდა ამისა, SO_4 -ის 1 გრამ-იონს, რომლის მასაცაა 96,066 ბ ($32,066+4 \cdot 16=96,066$ გ). ხსნარს, რომელიც შეიცავს ლიტრში ნივთიერების ერთ გრამ-მოლეკულას, ეწოდება მოლური. ხსნარის მოლურობა გვიჩვენებს მუშა ნივთიერების გრამ-მოლეკულების რაოდენობას მუშა ხსნარის 1 ლიტრში.

[2] გრამ-ეკვივალენტი—ნივთიერების რაოდენობაა გრამებში, რომელიც სარეაქციო ოვალსაზრისით წყალბადის ერთი გრამ-ატომის (1,0080 გ), ან ნებისმიერი ერთვალენტიანი გრამ-იონის ან ჟანგბადის გრამ-ატომის ნახევრის (8,000 გ) ტოლფასია. ნივთიერების გრამ-ეკვივალენტების რაოდენობა მის 1 გრამ - მოლეკულაში მოცემულ რეაქციაში მოცემული ნაერთის ერთი მოლეკულის შესაბამისი მოქმედი მუხტების რაოდენობის ტოლია. მაგალითად, HCl-ის 1 გრამ-მოლეკულას შეესაბამება 1 გრამ-ეკვივალენტი (ე.ი. HCl -ის 1 გრამ-ეკვივალენტი იწონის იმდენივეს, რასაც 1 გრამ-მოლეკულა, ე.ი.35,46 გ); H_2SO_4-ის 1 გრამ-მოლეკულას შეესაბამება 2 გრამ-ეკვივალენტი (ე.ი. H_2SO_4-ის 1 გრამ-ეკვივალენტი იწონის ორჯერ ნაკლებს, ვიდრე 1 გრამ-მოლეკულა, ე.ი. $98,08:2=49,04$ გ) და ა.შ.

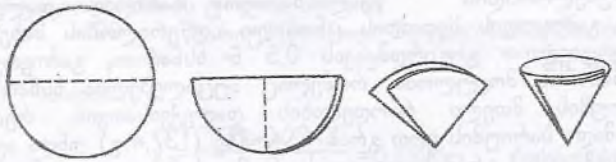
ე.ი. მჟავას 2ნ [1] ხსნარის 1 ლ (შესაბამისად 4 ლ (4000 მლ) 0,5 ნ H_2SO_4).

137,4 გ ბარიუმი მოითხოვს 0,5 ნ H_2SO_4 - ის 4000 მლ,
0,2943 „ „ წონაში „ H_2SO_4 - ის z მლ,

საიდანაც $Z = \frac{0{,}2943 \cdot 4000}{137{,}4} = 8{,}6$ მლ 0,5 ნ H_2SO_4.

გარანტიისათვის ავიღოთ 100 % -იანი ნაჭარბი, ე.ი. მოვზომოთ და გამოვიყენოთ 17 მლ 0,5 ნ H_2SO_4.

ნალექების გაფილტვრისათვის გამოიყენება ჩვეულებრივი საფილტრავი ქაღალდის გლუვი ფილტრები, უმჯობესია უნაცრო ფილტრები (ნახ.17). ფილტრის ზომას



ნახ.17. უნაცრო ფილტრის დაკეცვა

ირჩევენ ნალექის რაოდენობის მიხედვით (ჩვეულებრივ 7 ან 9 სმ-ის დიამეტრით). ფილტრზე ნალექის ჩარეცხვას ახორციელებენ ჩასარეცხი ხსნარის მცირე პორციების დამატებით (ნახ.18). ფილტრს გარეცხილი ნალექით აშრობენ ძაბრთან ერთად საშრობ კარადაში (ნახ.19) 60...80 °C ტემპერატურის პირობებში. მას შემდეგ რაც ფილტრის ქაღალდი გაშრება, იწყებენ გავარვარებას.

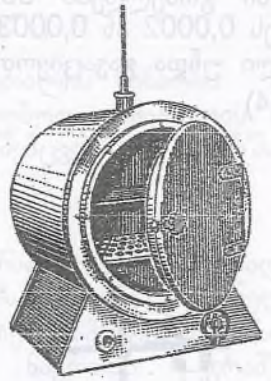
---

[1] ხსნარის ნორმალურობა გვიჩვენებს ნივთიერების გრამ-ეკვივალენტების რაოდენობას მუშა ხსნარის 1 ლიტრზე; ნორმალური (1 ნ) ხსნარი შეიცავს 1 გრამ-ეკვივალენტს, დეცინორმალური (0,1 ნ) ხსნარი-0,1 გრამ-ეკვივალენტს. საანგარიშო ფორმულებში ნორმალურობა აღინიშნება N ასოთი.

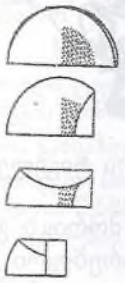
სპეციალური ხერხით დაკეცილ ფილტრს ნალექითურთ (ნახ.20) ათავსებენ წინასწარ გავარვარებულ და შე-



ნახ.18. გაფილტვრა



ნახ.19. საშრობი კარადა



ნახ.20.ფილტრების დაკეცვა

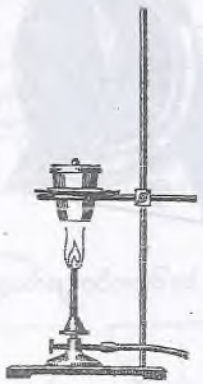


ნახ.21. ფაიფურის ტიგელები

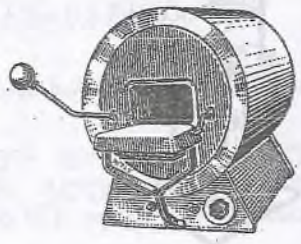
მდეგ გაცივებულ და ექსიკატორში გამომშრალ ტიგელში (ნახ.21), რომლის მასა განსაზღვრულია გრამის მეათიათასედი ნაწილის სიზუსტით. ტიგელს ავარვარებენ სანთურის ალით (ნახ.22), სანამ არ დანახშირდება საფილტრავი ქაღალდი და არ დაიწვება მთელი ნახშირი, მისი შემდგომი გავარვარება შეგვიძლია განვახორციელოთ როგორც სანთურის ალით, ისე მუფელის ღუმელში (ნახ.23). გავარვა-

ბიბლიოთეკა

რებას ახორციელებენ მუდვივ წონამდე, სანამ წონებში სხვაობა ორ მომდევნო გავარვარებას შორის (თითოეული მათგანი გრძელდება 30...60 წუთს) არ გახდება არა უმეტეს 0,0002 ან 0,0003 გ. ყოველი მორიგი აწონის წინ ტიგელი უნდა გავაცივოთ და გამოვაშროთ ექსიკატორში (ნახ.24) .



ნახ. 22. ქაღალდის ფილტრის დანახშირება



ნახ.23. მუფელის ღუმელი



ნახ.24. ექსიკატორი ტიგელებით

პრაქტიკულად მუდმივი წონის მიღწევისას მორიგი გავარვარების შემდეგ ნალექის შემცველი გავარვარებული ტიგელის წონიდან გავარვარებული ცარიელი ტიგელის წონის გამოკლებით მივიღებთ გავარვარებული და გამომშრალი ნალექის წონას. შემდეგ ვახორციელებთ გამოთვლას: ჯერ ნალექის წონას გადავიანგარიშებთ ჩვენთვის საინტერესო შემადგენელ ნაწილზე და შემდეგ, თუ საჭიროა, განვსაზღვრავთ ამ ნაწილის პროცენტულ შემცველობას გამოსაკვლევ ნივთიერებაში. ეს შემცველობა ჩვეულებრივ გამოისახება წონით პროცენტებში.

თუ ნივთიერების *a* გრამიდან გამოყოფილია განსასაზღვრავი შემადგენელი ნაწილის *b* გრამი, მაშინ მისი

პროცენტული შემცველობა x გამოსაკვლევ ნივთიერებაში მოიძებნება გამოსახულებით

$$x = \frac{b}{a} \cdot 100 \ ,$$

მაგალითად, თუ სუფრის მარილის ხსნარის 10 გ-ის გამოორთქვლის შედეგად მიღებულია მარილის მშრალი ნარჩენის 0,552 გ, მაშინ მისი შემცველობა ხსნარში იქნება

$$\frac{0{,}552}{10} \cdot 100 = 5{,}52\ \%.$$

იმ შემთხვევებში, თუ განსასაზღვრავი შემადგენელი ნაწილი გამოყოფილია ნაერთის სახით, უკანასკნელის წონას ამრავლებენ F ფაქტორზე (მამრავლზე), რომელიც გვიჩვენებს მის შემცველობას ნაერთის 1 გრამში, ე.ი. იყენებენ ფორმულას $x = \frac{bF}{a} \cdot 100$ (ფაქტორების მნიშვნელობები ანალიზური გამოთვლებისათვის მოცემულია საცნობარო ცხრილებში).

ჩვენს მაგალითში ტიგელის წონა $BaSO_4$ -ით — 4,7969 გ-ია, ცარიელი ტიგელის წონა — 4,3284 გ, მაშინ $BaSO_4$ -ის გავარვარებული ნალექის წონა შეადგენს 0,4685 გ-ს. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ *Ba* -ის განსაზღვრისას $BaSO_4$ -დან F ფაქტორი (*Ba* -ის ატომური წონის შეფარდება $BaSO_4$-ის მოლეკულურ წონასთან) საცნობარო ცხრილის მიხედვით 0,5885-ის ტოლია, ხოლო ანალიზისათვის აღებული ქლოროვანი ბარიუმის წონაკი შეადგენს 0,4905 გ, საწყის ნივთიერებაში გვექნება

$$x = \frac{0{,}4685 \cdot 0{,}5885}{0{,}4905} \cdot 100 = 56{,}22\ \%\ \text{ბარიუმი.}$$

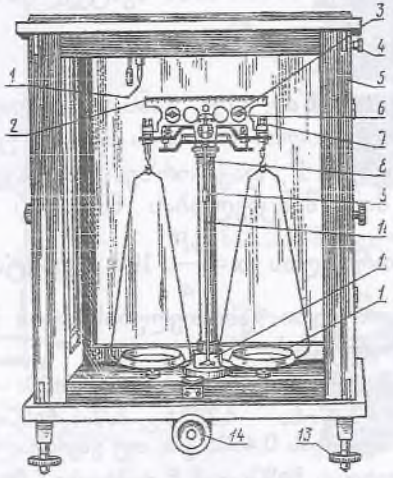
ყველა გამოთვლას აწარმოებენ სიზუსტით, რომელიც შეესაბამება ანალიზის სიზუსტეს, პირველ საეჭვო ციფრამდე. ამიტომ გამოთვლები საკმარისია ვაწარმოოთ მეოთხე ნიშნად ციფრამდე სიზუსტით.

ანალიზის გრავიმეტრიულ მეთოდს ახასიათებს მაღალი სიზუსტე (განსასაზღვრავი სიდიდის 0,02 %-მდე), მაგრამ გამოირჩევა ხანგრძლიობით (რამდენიმე საათი) და ოპერაციების სირთულით.

წონითი ანალიზი მთლიანად დაფუძნებულია ანალიზური სასწორების გამოყენებაზე.

ანალიზური სასწორი საშუალებას გვაძლევს ავწონოთ მცირე სხეულები მაღალი სიზუსტით — 1 მგ და უფრო მეტი.

უმარტივესი ორთეფშიანი ლაბორატორიული სასწორი BA-200 გამოსახულია 25-ე ნახაზზე.



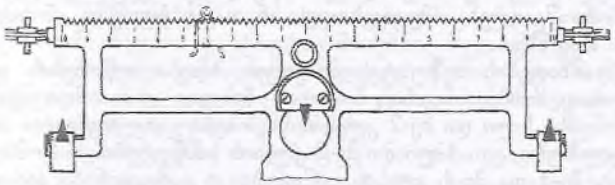
ნახ.25

ტოლმხარა უღელი 6 თავისი საყრდენი პრიზმით ეყრდნობა სვეტზე 8 დამაგრებულ ბალიშზე. საკიდები 7 თეფშებით 12 ჩამოკიდებულია უღელის ტვირთის მიმღებ პრიზმებზე. ისარი 10 გადაადგილდება სკალის 11 პარალელურად. სასწორის სვეტი 8 დამაგრებულია მასიურ ფილაზე, რომელსაც სასწორის დაყენებისათვის შვეულის მიხედვით გააჩნია ხრახნიანი ფეხები 13. არეტირის დისკო (სახელურით) 14 განლაგებულია სასწორის ვიტრინის 5 წინ. ვიტრინა იცავს სასწორს მტვრისაგან, ტენისაგან, ჰაერის ნაკადებისაგან და ტემპერატურის ზემოქმედებისაგან.

უღელის ზედა ნაწილზე დატანილია რეიტერული სკალა 2. რეიტერის (მავთულისაგან დამზადებული მცირე მასის საწონის) დაკიდება უღელზე ხორციელდება სპეციალური მოწყობილობის მეშვეობით, რომელიც შედგება ვიტრინის მარჯვენა მხრიდან შეყვანილ სახელურიან მიმმართველების გასწვრივ მოძრავ შტანგაზე 4 დამაგრებული კაუჭისაგან 1. სასწორის მგრძნობიაროობის რეგულირება წარმოებს ისრის 10 კუთხვილზე ტვირთის 9 გადაადგილებით. სასწორის ტარირებისათვის

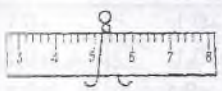
გამოყენებულია ტვირთები 3 ქანჩების სახით, რომელთა გადაადგილება შესაძლოა უღელზე დამაგრებული კუთხვილიანი ღერძების გასწვრივ.

უღელის (ნახ.26) დამახასიათებელი თავისებურებაა ის, რომ მის ზედა წიბოზე ერთმანეთისაგან თანაბარ მანძილზე განლაგებულია რეიტერული სკალის V -სებრი ღრმულები, რომლებშიც კაუჭით ვათავსებთ რეიტერს.



ნახ. 26. სასწორის უღელი რეიტერული სკალით

BA-200 ტიპის სასწორის რეიტერზე ცენტრალური პრიზმის ზევით განლაგებულია სკალის ნულოვანი დანაყოფი, ხოლო კიდურა პრიზმების წიბოების ზევით—მეათე დანაყოფი. აქ მანძილი ორ დიდ დანაყოფს შორის დაყოფილია ხუთ ნაწილად, რომელთაგანაც თითოეულს შეესაბამება 0,2 მგ ან 0,0002 გ. რეიტერის მდგომარეობა 27-ე ნახაზზე მიუთითებს იმაზე, რომ ანათვალი უღელის სკალის მიხედვით ტოლია 0,0052 გ-ისა. რეიტერის საშუალებით მოძებნილი ანათვალი უნდა დავუმატოთ სასწორის თეფშზე მოთავსებული საწონების მასას.



ნახ. 27

ანალიზური წვრილსაწონი. წვრილსაწონი, ანუ საწონების ანაწყობი, ჩვეულებრივ შედგება შემდეგი საწონებისაგან: 100+50+20+20+10+5+2+1 გ, 500+200+200+100+50+20+20+10 მგ. გრამიან საწონებს აქვთ ჩვენთვის ჩვეული საწონების ფორმა, დაყანგვისა და მასის სწრაფი ცვლილების ასაცილებლად დაფარულია სპეციალური ლითონის თხელი ფენით. მილიგრამიანი საწონების სხვადასხვა ნომინალებს აქვთ შესაბამისად სხვადასხვა ფორმა (ნახ.28), რაც საშუალებას გვაძლევს ადვილად განვასხვავოთ ისინი ერთმანეთისაგან. მილიგრამიან საწონებს ამზადებენ ფურცლოვანი ალუმინისაგან.



ნახ. 28. წვრილსაწონი

საწონები ინახება სპეციალურ ყუთში, თითოეული თავის ბუდეში, განსაზღვრული მიმდევრობით. იმავე ყუთში ინახება პინცეტი. საწონების აღება უნდა მოხდეს მხოლოდ ამ პინცეტით. საწონების ხელით აღება ყოვლად დაუშვებელია, ვინაიდან ამ დროს ხდება მათი გაჭუჭყიანება კანზე არსებული ტენითა და ქონით, რაც იწვევს ანალიზურ სასწორზე აწონისათვის საჭირო სიზუსტის დაკარგვას. აგრეთვე დაუშვებელია საწონების განლაგება მაგიდაზე, რვეულზე, წიგნზე და ა.შ. საწონი შეიძლება იმყოფებოდეს ან თავის ბუდეში, ან სასწორის მარჯვენა თეფშზე.

დამზადების სიზუსტის მიხედვით ხდება საწონების დაყოფა ხუთ კლასად, რომელთაგანაც ბოლო — მეხუთე კლასი მოიცავს სავაჭრო საწონებს. 1-ლი და მე-2 კლასის საწონები განკუთვნილია ძირითადად ანალიზური, ე.ი. 1-ლი და მე-2 კლასის სასწორების დაკომპლექტებისათვის, მე-3 და მე-4 კლასის საწონები კი გამოიყენება ძირითადად ტექნიკური, ე.ი. მე-3 და მე-4 კლასის სასწორებთან ერთად.

საწონების მასის ნომინალური მნიშვნელობებიდან დასაშვები გადახრები მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

ცხრილი 1

ნომინალური მასა	კლასი			
	1	2	3	4
1 მგ	±0,002	±0,01	+0,05	+0,25
2 მგ	±0,002	±0,01	+0,05	+0,25
5 მგ	±0,004	±0,02	+0,1	+0,1
10 მგ	±0,004	±0,02	+0,1	+0,1
20 მგ	±0,004	±0,02	+0,1	+0,1
50 მგ	±0,006	±0,03	+0,15	+0,75
100 მგ	±0,006	±0,03	+0,15	+0,75
200 მგ	±0,006	±0,03	+0,15	+0,75
500 მგ	±0,01	±0,05	+0,25	+1,25
1 გ	±0,02	±0,08	+0,4	+2
2 გ	±0,02	±0,08	+0,4	+2
5 გ	±0,04	±0,16	+0,8	+4
10 გ	±0,04	±0,32	+1,6	+8
20 გ	±0,06	±0,32	+1,6	+8
50 გ	±0,10	±0,48	+2,4	+12
100 გ	±0,10	±0,48	+2,4	+12
200 გ	±0,16	±0,8	+4	+20

თითოეული საწონის ნომინალური მასის შესწორებები მითითებულია საწონების ანაწყობის პასპორტში (მოწმობაში). ეს შესწორებები აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ აწონის დროს. იძისათვის რომ განვასხვავოთ საწონები ერთნაირი ნომინალური მასით, ერთ-ერთი მათგანის მარკირება შეიცავს წერტილს ციფრების ზევით (მაგალითად, 20 და 20 გ).

თუ ექსპერიმენტატორი თვითონ ატარებს საწონების შემოწმებას საკმაოდ მაღალი კლასის წვრილსაწონების გამოყენებით, მან უნდა შეადგინოს შესწორებების ცხრილი, რომელშიც უნდა აღინიშნოს შესწორების განსაზღვრის ფაქტიურად მოძებნილი ცდომილება.

ხანგრძლივი გამოყენების შედეგად წვრილსაწონის შემადგენელი საწონების მასა იცვლება. ამიტომ მათი მასის ნამდვილი მნიშვნელობა პერიოდულად უნდა შემოწმდეს.

იმ შემთხვევებში, როდესაც აწონა უნდა განვახორციელოთ მილიგრამიანი ანაწყობის მინიმალურ საწონზე (ჩვეულებრივ 10 ან 20 მგ) უფრო მეტი სიზუსტით, გამოიყენება სპეციალური საწონი, რომელსაც *რეიტერი* ეწოდება, ის წარმოადგენს მოღუნულ მავთულს, რომლის მასაც შეიძლება იყოს 1; 5 ან 10 მგ.

აწონის ტექნიკა **ВА-200** *ტიპის სასწორზე.* აწონის წინ ყურადღებით ათვალიერებენ სასწორს, რწმუნდებიან, რომ მისი კარადის შიგნით სისუფთავეა და თეფშებზე არაა მტვერი, აგრეთვე რწმუნდებიან იმაში, რომ რეიტერი ჩამოკიდებულია მიმმართველების გასწვრივ მოძრავი შტანგის კაუჭზე და ყველა საწონი იმყოფება წვრილსაწონის ყუთის სათანადო ბუდეში.

პირველ რიგში ეძებენ დაუტვირთავი სასწორის წონასწორობის მდგომარეობას, ე.ი. ნულოვან წერტილს. უკანასკნელი წარმოადგენს სკალის იმ დანაყოფს, რომლის მიმართაც მერხევი ისარი გადაიხრება ორივე მხარეს დანაყოფთა ერთ და იმავე რაოდენობაზე. დაუტვირთავი სასწორის ნულოვანი წერტილის განსაზღვრისას ჩვეულებრივ არ ელოდებიან ისრის სრულ გაჩერებას, ვინაიდან მისი რხევების მილევა ხდება საკმაოდ დიდი ხნის განმავლობაში. ნულოვანი წერტილის მოძებნა ხდება გამოთვლების გზით. სასწორის კარადის გაუხსნელად მოვაბრუნოთ არეტირის სახელურა (დისკო) მარცხნიდან მარჯვნივ ბოლომდე, რის შედეგადაც განთავისუფლებული უღელი იწყებს მდოვრედ რხევას (მიზანშეწონილია, რომ ისარი საშუალო მდგომარეობიდან გადაიხაროს არა ნაკლებ 3 და არა უმეტეს 7 დანაყოფით სკალის ამა თუ იმ მხარეს). ისრის პირველ ორ გადახრას არ ითვალისწინებენ, ვინაიდან ისინი გაპირობებულია არეტირის ბიძგითა და ჰაერის მოძრაობით კარადაში. მესამე რხევიდან დაწყებული ითვლიან და იწერენ სკალის ნულოვანი დანაყოფიდან ისრის ყოველ გადახრას როგორც მარცხნივ, ისე მარჯვნივ (დანაყოფთა ნაწილებს აითვლიან თვალით). ისრის ერთი მიმართულებით გადახრისას იღებენ ანათვლების ლუწ რაოდენობას, ხოლო მეორე მიმართულებით გადახრისას—კენტ რაოდენობას. შემდეგ ეძებენ სასწორის ისრის გადახრების საშუალო არითმეტიკულს ცალ-ცალკე გადახრის ყოველი მიმართულებისათვის.

გამოთვლების მაგალითი:

ისრის გადახრა მარჯვნივ	ისრის გადახრა მარცხნივ
6,5	
6,0	5,5
5,5	5,0
საშუალო 6,0	საშუალო 5,2

სხვაობას მოძებნილ საშუალოებს შორის ყოფენ შუაზე: (6,0-5,2)/2=0,4. ამ შემთხვევაში ნულოვანი წერტილი მდებარეობს სკალის ნულიდან 0,4 დანაყოფით მარჯვნივ. თუ აღმოჩნდება, რომ ნულოვანი წერტილი არ ემთხვევა სკალის ნულს 2—3 დანაყოფით, სასწორი უნდა გავაწონასწოროთ მათანაბრებელი ბალანსირის ქანჩებით. კარგად დარეგულირებულ სასწორებში ნულოვანი წერტილი თითქმის ემთხვევა სკალის ნულს. დატვირთული სასწორის შემთხვევაში მას *წონასწორობის წერტილი* ეწოდება. ნულოვანი წერტილის მოძებნის შემდეგ ახორციელებენ სასწორის არეტირებას და იწყებენ აწონას. დაუშვებელია ასაწონი ნივთიერების მოთავსება უშუალოდ სასწორის თეფშზე, ვინაიდან ეს იწვევს თეფშის კოროზიას. ყველა ნივთიერება უნდა აიწონოს შესაბამის ტარაში: ბიუქსებში, ტიგელებში. სასწორის თეფშზე დაუშვებელია ცხელი ან ცივი საგნების მოთავსება. ასაწონმა სხეულმა უნდა მიიღოს ოთახის ტემპერატურა ექსიკატორში.

ბიუქსს ამოიღებენ ექსიკატორიდან, დაახურავენ სახურავს და სასწორის კარადის მარცხენა კარის გაღების შემდეგ ათავსებენ მას არეტირებული სასწორის მარცხენა თეფშზე; ამის შემდეგ კარადის მარცხენა კარს ხურავენ.

წვრილსაწონის ყუთს ათავსებენ სასწორის მარჯვნივ, ხსნიან სასწორის კარადის მარჯვენა კარს და მარჯვენა თეფშზე პინცეტით ათავსებენ საწონს, რომელიც ბიუქსზე აშკარად უფრო მძიმეა, მაგალითად 20 გ. კარს დახურავენ და არეტირის სახელურს მდოვრედ ოდნავ შემოატრიალებენ მარცხენა ხელით მარცხნიდან მარჯვნივ, თანაც თვალს ადევნებენ ისრის გადახრას. თუ საწონი ნამდვილად უფრო მძიმეა ბიუქსზე და ისარი გადაიხრება მარცხნივ, ახორციელებენ სასწორის არეტირებას, პინცეტით ხსნიან საწონს თეფშიდან და აბრუნებენ წვრილსაწონის ყუთის სათანადო ბუდეში. მის მაგივრად თეფშზე ათავსებენ რიგით შემდეგ საწონს — 10 გ; თუ ეს აღმოჩნდება არასაკმარისი, მაშინ (სასწორის არეტირების შემდეგ) უმატებენ 5 გ ნომინალის მქონე საწონს. დავუშვათ, რომ ამ დროს ბიუქსი აღმოჩნდება უფრო მძიმე, მაშინ უმატებენ კიდევ 2 გრამს, მაგრამ თუ ეს აღმოჩნდება საჭიროზე მეტი, მაშინ გადმოიღებენ 2 გრამიან საწონს და მოათავსებენ მარჯვენა თეფშზე საწონს, რომლის ნომინალია 1გ. როდესაც 1 გ საწონი არ აღმოჩნდება საკმარისი (ხოლო 2 გრამი იყო მეტი), გადადიან გრამის მეათედი და მეასედი ნაწილების მოძებნაზე მილიგრამიანი საწონების საშუალებით. ამ საწონებს უმატებენ და ხსნიან მიმდევრობით, დაწყებული 0,5 გრამიდან (500 მგ) და დამთავრებული 0,01 გ (10 მგ) ნომინალის მქონე საწონით. ბოლოს, როდესაც 0,01 გ-ის დამატებისას ისარი ნულოვანი წერტილიდან გადაიხრება მარცხნივ, მოხსნიან მარჯვენა თეფშიდან 10 მგ ნომინალის მქონე საწონს, დახურავენ კარადის მარჯვენა კარს და იწყებენ მუშაობას რეიტერთან.

დასაწყისში, შტანგის კაუჭის საშუალებით რეიტერს ათავსებენ სკალის მარჯვენა ნაწილის მეხუთე დანაყოფზე, არეტირის სახელურს შემოაბრუნებენ ბოლომდე მარჯვნივ და თვალყურს ადევნებენ ისრის გადახრას ნულოვანი წერტილის მიმართ. თუ ისარი უფრო მეტად გადაიხრება მარჯვნივ, რეიტერს გადაადგილებენ მარჯვნივ; წინააღმდეგ შემთხვევაში — გადაადგილებას აწარმოებენ მარცხნივ. სკალაზე რეიტერის დაკიდების შემდეგ კაუჭს მაშინვე აცილებენ. სკალის გასწვრივ რეიტერის ყოველი გადაადგილების წინ ახორციელებენ სასწორის არეტირებას. რეიტერის საშუალებით აღწევენ ისეთ მდგომარეობას, როცა ისარი ნულოვანი წერტილიდან გადაიხრება ორივე მხარეს დანაყოფების ერთი და იმავე რაოდენობით. შემდეგ ითვლიან ბიუქსის მასას წვრილსაწონის ყუთში ცარიელი ბუდეებისა და სკალაზე რეიტერის მდგომარეობის მიხედვით. ციფრები რეიტერზე გეიჩვენებენ გრამის მეათასედ ნაწილებს, ხოლო ყოველი პატარა დანაყოფი მათ შორის — 0,0002 გ.

ბიუქსის მასას იწერენ ლაბორატორიულ ჟურნალში. ჩანაწერის სისწორეს ამოწმებენ სასწორის მარჯვენა თეფშიდან საწონების გადაადგილებისას წვრილსაწონის ყუთის ბუდეში.

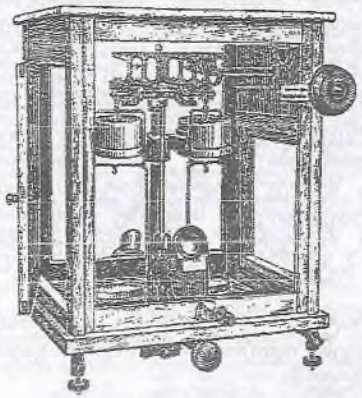
მაგალითად, თუ მარჯვენა თეფშზე საწონების მასათა ჯამი იყო 16,85 გ, ხოლო ანათვალი რეიტერის მიხედვით შეადგენდა 52 -ს, ბიუქსის მასა ტოლი იქნება 16,8552 გ.

აწონის დამთავრებისას კაუჭით ხსნიან რეიტერს სკალიდან, ხურავენ წვრილსაწონის ყუთს და ათავსებენ აწონილ ბიუქსს ექსიკატორში.

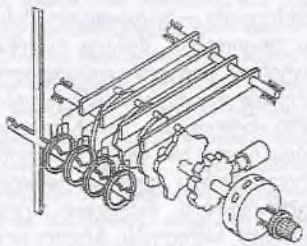
საქარხნო და სხვა ლაბორატორიებისათვის , სადაც აუცილებელია სწრაფი აწონა, მოსახერხებელია ანალიზური დემფერული სასწორების გამოყენება (ნახ.29). ჩვეულებრივი სასწორებისაგან განსხვავებით მათ გააჩნიათ საჰაერო დამაწყნარებლები (დემფერები), რომლებიც აჩერებენ სასწორის ისარს ერთი-ორი რხევის შემდეგ, აგრეთვე ავტომატური მოწყობილობა მილიგრამიანი საწონების მოსათავსებლად.

უღელის მარჯვენა საკიდზე დამაგრებულია განივი თამასა, რომელზეც ბერკეტების სისტემის საშუალებით წარმოებს რგოლების სახით დამზადებული მილიგრამიანი საწონების ჩამოკიდება (ნახ.30). ეს მოწყობილობა საშუალებას გვაძლევს ჩამოვკიდოთ წვრილსაწონები 10-დან 990 მგ-მდე. ამ მოწყობილობის მართვა ხორციელდება ორი დისკოსაგან შემდგარი სახელურის საშუალებით, რომელიც АДВ-200 ტიპის სასწორის შემთხვევაში დამაგრებულია სასწორის კარადის მარჯვენა ნაწილში. სახელურის დისკოებზე დატანილია ციფრები. გარე დისკო ციფრებით 0-დან 9-მდე მართავს ასეულ მილიგრამიან საწონებს,

შიგა დისკო ციფრებით 00-დან 90-მდე კი — ათეულ მილიგრამიან საწონებს. საერთო მასას საზღვრავენ დისკოების უძრავი მაჩვენებლის გასწვრივ განლაგებული ციფრების მიხედვით. მაგალითად, თუ ამ მაჩვენებლის გასწვრივ გარე დისკოზე განლაგებულია ციფრი 5, ხოლო შიგაზე — 80, თაბასაზე ჩამოკიდებულია რგოლები საერთო მასით 580 მგ.



ნახ.29. ანალიზური დემფერული სასწორი АДВ-200



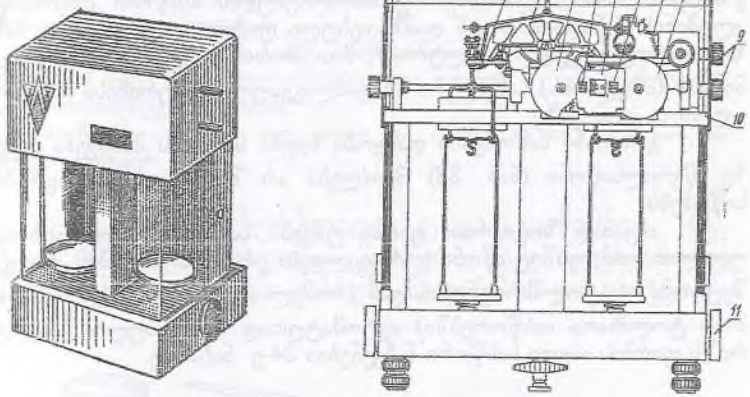
ნახ.30. მილიგრამიანი რგოლების ჩამოკიდების მექანიზმი

მილიგრამები და მათი მეათედი ნაწილები ამ სასწორზე აითვლება სკალიდან ისრის გადახრის მიხედვით. მის გადიდებულ გამოსახულებას აკვირდებიან ოპტიკური მოწყობილობის საშუალებით მჭრქალ ეკრანზე. ეკრანის გამანათებელი ირთვება ავტომატურად არეტირის სახელურის მობრუნებისთანავე.

31-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ტოლმხარა ლაბორატორიული სასწორი ВЛР-200.

ამ სასწორში გამოყენებული ოპტიკური ამთვლელი მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი ჩანს 32-ე ნახაზიდან. სინათლის სხივი ნათურიდან 1 გადის კონდენსორში 2, მინაში 3 მასზე დატანილი მიკროსკალის გაუმჭვირი დაციფრული შტრიხებით, ობიექტივში 4, სარკეების 5 სისტემაში და ხვდება ამთვლელი მოწყობილობის მჭრქალ ეკრანზე. მიკროსკალა დამაგრებულია სასწორის ისარზე და მოძრაობს მასთან ერთად. ობიექტივის 4 მხედველობის არეში მოხვედრილი მიკროსკალის უბნის გადიდებული გამოსახულება კარგად ჩანს ეკრანზე 6, სადაც დატანილია ასათვლელი კაწრულა ან ასათვლელი ინდექსი. მიკროსკალა დაყოფილია 100 დაციფრულ დანაყოფად ფასით 1 მგ /დან.

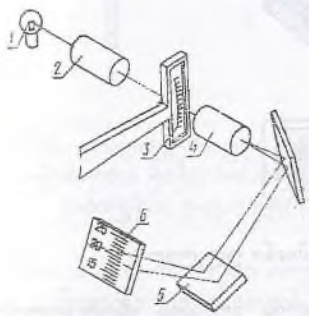
ამთვლელი მოწყობილობის მიხედვით მასის გაზომვის საერთო დიაპაზონი შეადგენს 1000 მგ-ს; ათვლის სიზუსტეა 0,05 მგ. მარჯვენა



ა ბ

ნახ.31. ლაბორატორიული სასწორი ВЛР –200:
ა- გარე ხედი; ბ - სასწორი მოხსნილი ხუფით

საკიდზე ჩამოკიდებული 100,100,200 და 500 მილიგრამიანი რგოლური საწონების მასას აითვლიან ფანჯარაში 4 დაციფრული ლიმბიდან 3. ასი დანაყოფის მქონე მიკროსკალიდან ანათვალს იღებენ მჭრქალი ეკრანიდან 5. აწონის შედეგების ბოლო თანრიგები გარჩევის



ნახ. 32. ოპტიკური ამთვლელი მოწყობილობა



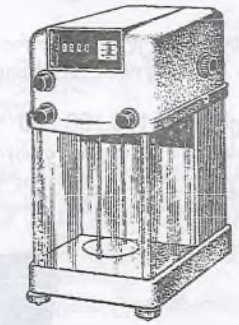
ნახ. 33. წვრილსაწონი მილიგრამიანი საწონების გარეშე

უნარით 0,05 მგ აითვლება ამთვლელი მოწყობილობის ფანჯარაში 6 გამყოფი მექანიზმის ლიმბიდან 8. რგოლური საწონების ჩამოკიდება და მოხსნა ხდება სპეციალური მექანიზმის 7 საშუალებით.

კონვექციური და სითბური ნაკადების ზემოქმედებისაგან დაცვისათვის საზომი მექანიზმები განმხოლოებულია ასაწონი კამერისაგან ალუმინის შენადნობისაგან დამზადებული ფირფიტით 10. იგივე მიზნით მართვის ყველა სახელური 9, მათ შორის მაიზოლირებელი მექანიზმის (არეტირის) სახელური 11 განლაგებულია ვიტრინისა და ძირის გვერდით კედლებზე.

გრამიანი საწონების დაწყობა ხდება საწონის მარჯვენა თეფშზე. წვრილსაწონი (ნახ. 33) შეიძლება არ შეიცავდეს მილიგრამიან საწონებს.

ამჟამად ზოგიერთი ფირმა უშვებს სასწორებს ორპრიზმიანი უღელით,რომლებშიც აწონა ხორციელდება ერთ მხარზე. ამის შედეგად შეცდომა არატოლმხროვნობისაგან (რომელსაც ადგილი აქვს სამპრიზმიან ტოლმხარა სასწორებში) ავტომატურად აცილებულია. „მეთლერი“-ს ფირმის ასეთი სასწორი ნაჩვენებია 34-ე ნახაზზე.



ნახ.34. სასწორი ორპრიზმიანი უღელით

ამ სასწორზე აწონისას ანათვალის მოხსნას ახორციელებენ ვიტრინის წინა პანელზე განლაგებული ფანჯრებიდან,სადაც ჩანს გრამებისა და გრამის მეათედების შესაბამისი ციფრები. მთელი მილიგრამების ასათვლელად გამოიყენება მიკროსკალა, ხოლო მილიგრამის მეათედი ნაწილები აითვლება ნონიუსის მიხედვით.

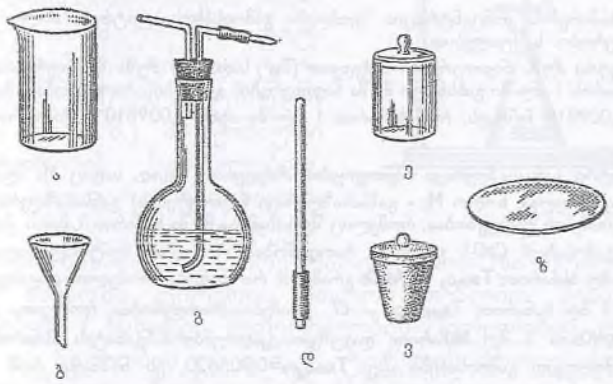
ანალიზურ სასწორებს უყენებენ რიგ მოთხოვნებს. ისინი უნდა იყოს მგრძნობიარე, მდგრადი და სწორი.

სასწორების *მგრძნობიარობას* ახასიათებენ სკალის მიხედვით ისრის გადახრის სიდიდით ერთი თეფშის მცირე გადატვირთვის შემთხვევაში. მაგალითად, სასწორი საკმაოდ მგრძნობიარეა, თუ 1 მგ გადამეტტვირთვის შემთხვევაში ისარი გადაიხრება სკალის შუა მდგომარეობიდან 3 - 5 დანაყოფით.

სასწორი *მდგრადია*, თუ ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან გამოყვანილი სასწორის უღელი გარკვეული დროის შემდეგ უბრუნდება წონასწორობის მდგომარეობას.

სასწორი *სწორია*, თუ ერთი და იმავე საგნის აწონისას ის გვაძლევს ერთნაირ შედეგს.

აუცილებელი ჭურჭლიდან უნდა აღინიშნოს 100, 200 და 400 მლ ტევადობის ქიმიური ჭიქები, ცხვირიანი სინჯარები წონაკისათვის; ძაბრები ნალექების გაფილტვრი-



ნახ.35. გრავიმეტრიულ ანალიზში გამოყენებული ჭურჭელი: ა-ქიმიური ჭიქა; ბ-ძაბრი; გ-სარეცხელა; დ-ძიხის წკირი; ე-ბიუქსი; ვ-ფაიფურის ტიგელი; ზ -საათის მინა

სათვის, მინის ჩხირები არევისათვის, სარეცხელები, ფინჯანები გამოორთქვლისათვის, ფაიფურის ტიგელები გავარვარებისათვის, ექსიკატორები გაცივებისა და ტენის შთანთქმისაგან დასაცავად.

2.1.2. მოცულობითი ანალიზი

მოცულობითი ანალიზი შეიცავს ტიტრომეტრულ მოცულობით ანალიზს და აირის მოცულობით ანალიზს.

ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზი

ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზი დაფუძნებულია რეაქტივის ზუსტად ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარის (სტანდარტული ხსნარის, მუშა ხსნარის, გატიტრული ხსნარის) მოცულობის გაზომვაზე, რომელიც აუცილებელია განსასაზღვრავი ნივთიერების მოცემულ რაოდენობასთან რეაქციის დასრულებისათვის. ტიტრომეტრული ანალიზი იმაში მდგომარეობს, რომ ცნობილი კონცენტრაციის (ცნობილი ტიტრის)[1] სტანდარტული ხსნარი თანდათანობით ემატება სპეციალური ბიურეტიდან ჯერ მცირე

[1] ხსნარების კონცენტრაცია შეიძლება გამოისახოს: ტიტრის, მოლურობის და ნორმალურობის საშუალებით.

ტიტრი მუშა ნივთიერების მიხედვით (T_M სადაც M მუშა ნივთიერების ფორმულაა) ხსნარის 1 მლ-ში გახსნილი მუშა ნივთიერების გრამების რაოდენობაა. მაგალითად $T_{H_2SO_4}$=0,009810 ნიშნავს, რომ ხსნარის 1 მლ-ში აირის 0,009810 გ ქიმიურად სუფთა H_2SO_4.

ტიტრი განსასაზღვრავი ნივთიერების მიხედვით ($T_{M1/M2}$, სადაც M_1 მუშა ნივთიერების ფორმულაა, ხოლო M_2 - განსასაზღვრავი ნივთიერების) განსასაზღვრავი ნივთიერების გრამების რაოდენობაა, რომელიც შეესაბამება მუშა ხსნარის 1 მლ-ს. მაგალითად $T_{HCl/CaO}$ გამოსახავს CaO-ს გრამების რაოდენობას, რომელთა ნეიტრალიზაციაც ხდება *HCl*-ის 1 მლ ხსნარით; T_{I_2/As_2O_3} — As_2O_3 გრამების რაოდენობა, რომელთა დაჟანგვაც ხდება იოდის 1 მლ ხსნარით; T_{AgNO_3/Cl^-} — Cl^- გრამების რაოდენობაა, რომელთა დალექვაც ხდება $AgNO_3$-ის 1 მლ ხსნარით; დავუშვათ, კალიუმპერმანგანატის ხსნარის ტიტრი რკინის მიხედვით გამოისახება ასე: $T_{KMnO_4/Fe}$=0,005620, ეს ნიშნავს, რომ $KMnO_4$-ის ხსნარის 1 მლ ჟანგავს 0,005620 გ *Fe*.

ხსნარის მოლურობა გვიჩვენებს მუშა ნივთიერების გრამ-მოლეკულების რაოდენობას მუშა ხსნარის 1 ლ-ში, ანუ, რაც იგივეა, მილიგრამ-მოლეკულების რიცხვს 1მლ-ში; ხსნარის მოლურობა აღინიშნება M სიმბოლოთი, რომელიც ისმება სათანადო რიცხვის შემდეგ. მაგალითად, M_{HCL}=0,1145 (*HCL*-ის 0,1145 M ხსნარი) გვიჩვენებს, რომ ხსნარის 1 ლიტრი შეიცავს *HCl*-ის 0,1145 გრამ-მოლეკულას (ანუ ხსნარის 1 მლ შეიცავს *HCl*-ის 0,1145 მილიგრამ-მოლეკულას).

ხსნარის ნორმალურობა გვიჩვენებს ნივთიერების გრამ-ეკვივალენტების რაოდენობას მუშა ხსნარის 1 ლ-ზე (ნივთიერების მილიგრამ-ეკვივალენტების რაოდენობას მუშა ხსნარის 1 მლ-ზე). ნორმალურობას აღნიშნავენ ნ სიმბოლოთი სათანადო რიცხვის შემდეგ. მაგალითად, 1 ნ H_2SO_4 ხსნარის 1 ლიტრი შეიცავს გოგირდმჟავას 1 გ-ეკვ.; თუ გვაქვს *HCl*-ის 0,1010 ნ ხსნარი, ხსნარის 1 ლიტრი შეიცავს *HCl*-ის 0,1010 გ-ეკვ. (ან 1 მლ-ში *HCl*-ის 0,1010 მილიგრამ-ეკვივალენტია). საანგარიშო ფორმულებში ნორმალურობას აღნიშნავენ „N"ასოთი .

პროცესებით, შემდეგ წვეთ-წვეთობით რეაქციის დასრულებამდე (ნახ.36).



ნახ.36

რეაქტივის მისხმის პროცესს ტიტვრა ეწოდება. ტიტვრის დროს რეაქციის დამთავრებისას (ე.წ. ეკვივალენტურობის წერტილის[1] მიღწევისას) ხდება ხსნარის ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური თვისების მკვეთრი შეცვლა. ამიტომ ტიტვრის საბოლოო წერტილი შეგვიძლია დავადგინოთ ინსტრუმენტული მეთოდებით (ხსნარის ამა თუ იმ თვისების საზომი ხელსაწყოების ჩვენების მიხედვით—იხ. მაგალითად, პოტენციომეტრული ტიტრა, კულონომეტრული ტიტრა, კონდუქტომეტრული ტიტრა, დიელექტრომეტრული ტიტრა და ა.შ.) ან ქიმიური ინდიკატორების საშუალებით. ქიმიური ინდიკატორები ნივთიერებებია, რომლებიც შეგვაქვს საანალიზო ხსნარებში მცირე რაოდენობით და რომლებიც იწვევენ ხსნარში ტიტვრის ბოლოს თვალით შესამჩნევ ცვლილებებს (ხსნარის შეფერილობის ცვლილებას, ლექის გაჩენას ან გაქრობას და ა.შ.). ტიტვრის პროცესის დასრულების შემდეგ ვზომავთ მუშა ხსნარის მოცულობას, რომელიც დაიხარჯა ტიტვრაზე და ვაწარმოებთ გამოთვლებს საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის.

ზემოთ აღწერილ პირდაპირ ტიტვრას იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც რეაქცია სათანადო ნივთიერებას და

[1] ეკვივალენტურობის წერტილი მომენტია, როდესაც სტანდარტული ხსნარის რაოდენობა განსასაზღვრავი ნივთიერების რაოდენობის ეკვივალენტურია (ტოლფასია) მოცემული რეაქციისათვის ქიმიური განტოლების შესაბამისად.

სტანდარტულ ხსნარს ძმარის სწრაფად და სტექიომეტრიულად მიმდინარეობს. თუ რეაქციის ეკვივალენტურობის წერტილის გამოვლენა გაძნელებულია, პირდაპირი ტიტვრის მაგივრად იყენებენ ერთ-ერთს შემდეგი ორი დამატებითი ხერხიდან: შებრუნებულ ტიტვრას ან ტიტვრას ჩანაცვლების მიხედვით.

შებრუნებულ ტიტვრას (ტიტვრას ნაშთის მიხედვით) იყენებენ მაშინ, როდესაც საკვლევი ნივთიერება არ რეაგირებს სტანდარტულ ხსნართან ან რეაგირებს არასაკმაოდ სწრაფად (რეაქცია ძნელად მიმდინარეობს). ამ შემთვევაში საანალიზო ნივთიერების სინჯს ჭარბად უმატებენ სტანდარტული ხსნარის ზუსტად გაზომილ მოცულობას. რეაქციის დამთავრების შემდეგ დამატებული რეაქტივის ნარჩენს ტიტრავენ სხვა რეაქტივის სტანდარტული ხსნარით.

ჩანაცვლებითი ტიტვრა პროცედურულად შებრუნებული ტიტვრის ანალოგიურია. მას იყენებენ მაშინ, როდესაც მოცემული ნივთიერების უშუალო განსაზღვრა გაძნელებულია (არ არსებობს სათანადო ტიტრანტი, არ არის აუცილებელი ინდიკატორი და სხვ.). ამ შემთხვევაში საანალიზო ნივთიერება შესაბამის რეაქტივთან რეაქციის შედეგად გარდაიქმნება სხვა ნაერთად, რომელსაც ტიტრავენ სტანდარტული ხსნარით ჩვეულებრივი წესით.

ტიტრომეტრულ ანალიზში გამოყენებული ყველა რეაქცია უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს: მიმდინარეობდეს სტექიომეტრიულად ანალიზის შედეგის დამამახინჯებელი თანამდევი რეაქციების გარეშე და ტიტვრის პირობებში პრაქტიკულად უნდა იყოს შეუქცევი; მიზანშეწონილია, რომ რეაქციის სიჩქარე იყოს საკმაოდ დიდი. ბოლოს, არსებით ელემენტს წარმოადგენს შესაფერისი ინდიკატორის არსებობა.

მოცულობით ანალიზში გამოყენებული რეაქციები მიმდინარეობს მხოლოდ და მხოლოდ ხსნარებში. როგორც ცნობილია, რეაქციები ხსნარებში მიმდინარეობს ძირითადად იონებს შორის. რეაქციების ტიპის მიხედვით მოცულობითი ანალიზი შეიძლება დაიყოს მეთოდების ორ ჯგუფად, რომლებიც უზრუნველყოფენ: 1) იონების შეერთების რეაქციაზე დაფუძნებულ განსაზღვრას (ნეიტრალიზაციის მეთოდი და კომპლექსთწარმოქმნისა და დალექ-

ვის მეთოდი); 2) ერთი იონიდან მეორეზე ელექტრონების გადაცემის რეაქციაზე დაფუძნებულ განსაზღვრას (ჟანგვა-აღდგენის სხვადასხვაგვარი მეთოდები).

ნეიტრალიზაციის მეთოდებს მოცულობით ანალიზში მიეკუთვნება მჟავებისა და ტუტეების H^+ და OH^- იონების, აგრეთვე მათთან რეაგირებადი სხვა ნივთიერებების (მაგალითად, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, NH_4Cl), განსაზღვრა. **ალკალიმეტრიაში** ტუტეებისა და ტუტე ხასიათის ნივთიერებების ტიტვრისათვის გამოიყენება რომელიმე მჟავის ხსნარი (ჩვეულებრივ HCl-ის ან H_2SO_4-ის 0,1 ნ ან 0,2 ნ ხსნარი); **აციდიმეტრიაში** მჟავებისა და მჟავური ხასიათის ნივთიერებებისათვის გამოიყენება ტუტის მუშა ხსნარი (ჩვეულებრივ $NaOH$, KOH-ის და ზოგიერთ შემთხვევაში $Ba(OH)_2$ -ის 0,1 ნ ან 0,2 ნ ხსნარი). ტიტვრისას ხდება ნეიტრალიზაციის რეაქცია $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$. ტიტვრის ეკვივალენტურობის წერტილები შეინიშნება დამხმარე ნივთიერების—ინდიკატორის (ლაკმუსი, მეთილნარინჯი, ფენოლფთალეინი) ფერის შეცვლის მიხედვით. მჟავის ტიტვრისას ტუტით შეფერილობა იცვლება შემდეგნაირად: ლაკმუსისათვის წითლიდან ლურჯში, ფენოლფთალეინისათვის—უფერულიდან წითელში და მეთილნარინჯისათვის — ნარინჯისფერიდან ყვითელში. ტუტის ტიტვრისას მჟავით შეფერილობის შეცვლა ხდება საწინააღმდეგოდ. ორივე მეთოდების (შებრუნებული ტიტვრა, ტიტვრა ჩანაცვლებით) გამოყენებისას ნეიტრალიზაციის მეთოდით შეგვიძლია განვსაზღვროთ აგრეთვე სხვადასხვაგვარი კატიონები.

დალექვისა და კომპლექსთწარმოქმნის მეთოდებს მიეკუთვნება ნალექების ან კომპლექსური ნაერთების შექმნის რეაქციაზე დაფუძნებული განსაზღვრა. განსაზღვრათა ძირითად ჯგუფს ამ მეთოდით წარმოადგენს **არგენტომეტრია** (განსაზღვრის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ვერცხლის უხსნადი მარილების შექმნის რეაქციაზე), მაგალითად, $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$. მუშა ხსნარს წარმოადგენს აზოტმჟავა ვერცხლის $AgNO_3$ ხსნარი, ინდიკატორის სახით შეგვიძლია გამოვიყენოთ სატიტრ ხსნარში დამატებული სამვალენტი-

ანი რკინის ან ქრომატის ხსნარი, რაც იწვევს ეკვივალენტურობის წერტილის შემდეგ წითელ-აგურისფერი ნალექის ან ინდიკატორის შეფერილი ნაერთის წარმოქმნას.

ამრიგად განისაზღვრება იონები: $Cl^-, Br^-, I^-, Ag^+, CN^+, CNS^+$ და ა.შ. ვერცხლის უხსნადი მარილების შექმნაზე დაფუძნებული განსაზღვრის გარდა დალექვის მეთოდს მიეკუთვნება შედარებით ნაკლებად გამოყენებული განსაზღვრები, რომლებიც დაფუძნებულია სხვა ნალექების შექმნის რეაქციაზე, მაგალითად, Hg_2Cl_2 მუშა ხსნარის სახით ერთვალენტიანი ვერცხლისწყლის ნიტრატის ხსნარის გამოყენებისას (**მერკურიმეტრია**) ან განსაზღვრები, რომლებიც დაფუძნებულია არაიონიზებული მარილების ან კომპლექსების $Hg(CnS)_2$ $KAg(CN)_2$ და სხვ. წარმოქმნის რეაქციაზე. აქ გატიტრული ხსნარის ერთ-ერთი იონი გარდაქმნის საძიებელ იონს ან კომპლექსურ იონში ან მცირედ დისოცირებულ ნაერთში. ამ ჯგუფში შედის: ტიტვრა კალიუმის ციანიდით (სპილენძის, ნიკელის განსაზღვრა); ორვალენტიანი ვერცხლისწყლის ნიტრატის ხსნარით— **მერკურიმეტრია**; ნატრიუმის ეთილენდიამინტეტრააცეტატის ხსნარით (კალიუმის, მაგნიუმის და სხვ. განსაზღვრა). დალექვის რეაქციები მოცულობითი ანალიზისათვის ნაკლებად გამოსადეგია, ვინაიდან ტიტვრის ჩატარება ამ რეაქციების მიხედვით უფრო რთულია.

ჟანგვა-აღდგენის მეთოდებს (**ოქსიდიმეტრია**) მიეკუთვნება სხვადასხვა მჟანგავებისა და აღმდგენების მოცულობითი განსაზღვრა. ასეთი რეაქციები მოცულობით ანალიზში განხორციელებადია მხოლოდ ისეთი ელემენტებისათვის, რომლებიც ადვილად იცვლიან ვალენტობას, ე.ი. პერიოდული სისტემის შუაში (განსაკუთრებით IV რიგში) განლაგებული ელემენტების შედარებით მცირე რაოდენობისათვის: *Ti, V, Cr, Mn, Fe,* აგრეთვე *Cu, As, S, Sn, I* და სხვა. ირიბი მეთოდებით ამ ელემენტების ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ სხვა ელემენტებიც.

ჟანგვა-აღდგენის მეთოდების გამოყენებისას აღმდგენის შემცველობას ხსნარში საზღვრავენ მჟანგავის საშუალებით მისი ტიტვრით, ან, პირიქით საზღვრავენ მჟანგავის

შემცველობას აღმდგენის ხსნარის საშუალებით მისი ტიტვრით. გამოყენებული მჟანგავების მიხედვით თანამედროვე ოქსიდიმეტრია იყოფა: **პერმანგანატომეტრიად** (კალიუმპერმანგანატის $KMnO_4$ სტანდარტული ხსნარი), **ქრომატომეტრიად** (კალიუმის ბიქრომატის $K_2Cr_2O_7$ სტანდარტული ხსნარი), **ბრომატომეტრიად** (კალიუმბრომატის $KBrO_3$ სტანდარტული ხსნარი), **ვანადომეტრიად** (NH_4VO_3 სტანდარტული ხსნარი) და ა.შ. გამოყენებული აღმდგენებით ასხვავებენ: **იოდომეტრიას** (ნატრიუმთიოსულფატის $Na_2S_2O_3$ სტანდარტული ხსნარი), **ტიტანომეტრიას** (სამქლორიანი ტიტანის $TiCl_3$ ან სამვალენტიანი ტიტანის სულფატის სტანდარტული ხსნარები), **ცერიმეტრიას** (ოთხვალენტიანი ცერიუმის სულფატის მარილის სტანდარტული ხსნარი), **ქრომომეტრიას** ($CrCl_2$). ეკვივალენტურობის წერტილის გამოვლენისათვის იყენებენ ჟანგვა-აღდგენით ინდიკატორებს, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში (მაგალითად პერმანგანატომეტრიაში) ინდიკატორად თვით მტიტრავი ხსნარია, რომელსაც აქვს კაშკაშა შეფერილობა. პრაქტიკულად პერმანგანატომეტრია გამოიყენება რკინის მადნებსა და ფოლადში რკინის, მანგანუმის, ქრომის, ვანადიუმის და სხვათა შემცველობის განსაზღვრისათვის; ქრომატომეტრია გამოიყენება რკინის განსაზღვრისათვის ისეთი ინდიკატორით, როგორიცაა დიფენილამინი; ბრომატომეტრია განსაკუთრებით გამოიყენება სტიბიუმის განსაზღვრისათვის; ტიტანომეტრია ემსახურება ნიტრონაერთების განსაზღვრას, იოდომეტრია — გოგირდის განსაზღვრისას ნახშირში, დარიშხანის პრეპარატების, ჰიპოქლორიტების ანალიზებში.

ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზის ყველა მეთოდში საერთო ხერხებია: ეკვივალენტურობის წერტილის განსაზღვრა და მოცულობის გაზომვა. ეკვივალენტურობის წერტილის განსაზღვრისა და მოცულობების გაზომვის სიზუსტეზე არსებითადაა დამოკიდებული ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზის სიზუსტე.

იდეალურ შემთხვევაში ტიტვრა უნდა დავამთავროთ ეკვივალენტურობის წერტილში, ე.ი. იმ მომენტში, როდესაც ხსნარში პრაქტიკულად გაქრება განსასაზღვრავი

იონები და არაა მუშა ხსნარის იონების სიჭარბე. რეალურად მუშა ხსნარის მისხმა (დამატება) ხორციელდება არა უსასრულოდ მცირე პორციებით, არამედ მთელი წვეთებით (დაახლოებით 0,05 მლ). თითოეული წვეთი შეიცავს იონების უსასრულოდ დიდ რაოდენობას. ჩვეულებრივ, უკანასკნელი წვეთით შეტანილი იონების რაოდენობა მეტია, ვიდრე ხსნარში დარჩენილ იონთა რაოდენობა და ამის გამო ვიღებთ „ნახტომს“ ეკვივალენტურობის წერტილზე — განსასაზღვრავი იონების სიჭარბიდან მუშა ხსნარის იონების სიჭარბისაკენ. იმ შემთხვევაშიც კი, თუ მეტი სიზუსტისათვის ტიტვრის ბოლოს შევიტანთ ხსნარში არა მთელ წვეთებს, არამედ მის ნაწილებს (ჩამოკიდებული წვეთის მოხსნით ჭურჭლის კედელთან შეხებით), ეკვივალენტურობის წერტილს ზუსტად ვერ მივაღწევთ.

მოცულობის გაზომვა უნდა განვახორციელოთ საკმარისი სიზუსტით. ვინაიდან ტიტრის ხარჯი მაკროანალიზში ჩვეულებრივ შეადგენს 20···30 მლ-ს, იმისათვის, რომ მივიღოთ შედეგი 0,1%-მდე სიზუსტით, ეს მოცულობა უნდა გაიზომოს 0,02···0,03 მლ სიზუსტით (სწორედ ეს სიზუსტე შეადგენს პროცენტებში (0,02·100)/20=0,1%). ამრიგად, მუშა ხსნარის მოცულობის გაზომვა უნდა განხორციელდეს მეოთხე ნიშნად ციფრამდე სიზუსტით. ხსნარების მოცულობის გაზომვისათვის გამოიყენება გარკვეული ტევადობის მინის საზომი ჭურჭლები — ბიურეტები, პიპეტები, მენზურები (გადმოღვრილი სითხის მოცულობის გასაზომად) და საზომი კოლბები (მათში მოთავსებული მოცულობის გასაზომად).

ტიტრომეტრულ მოცულობით ანალიზში შეცდომები დაკავშირებულია აგრეთვე წონაკის აწონის, მუშა ხსნარის ტიტრის განსაზღვრის და გამოანგარიშების სიზუსტესთან. თუ საჭიროა მივიღოთ ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზის სიზუსტე 0,1%, მაშინ მოცულობითი ანალიზის ყველა ცალკეული ოპერაცია (წონაკის აწონა, ტიტრის განსაზღვრა, ეკვივალენტურობის წერტილის მოძებნა, მუშა ხსნარის მოცულობის გაზომვა) უნდა შესრულდეს იგივე სიზუსტით. აღნიშნული ვრცელდება მოცულობითი ანალიზის ყველა გამოთვლაზეც.

გამოთვლებს ტიტრომეტრულ მოცულობით ანალიზში ასრულებენ ეკვივალენტურობის წერტილის მისაღწევად მუშა ხსნარის საჭირო V მოცულობის განსაზღვრის შემდეგ.

სატიტრი ნივთიერების რაოდენობა q გრამებში გამოითვლება სხვადასხვა გზით მუშა ხსნარის კონცენტრაციის გამოსახვის ხერხის მიხედვით:

ა) თუ ცნობილია ტიტრი მუშა ნივთიერების მიხედვით T_M,

$$q=V\cdot T\cdot \frac{m_1\cdot M_1}{m_2\cdot M_2} \quad \text{ან} \quad q=V\cdot T\cdot \frac{E_1}{E_2}\ ; \qquad (1)$$

ბ) თუ ცნობილია ტიტრი განსასაზღვრავი ნივთიერების მიხედვით T_{M_1/M_2},

$$q=V\cdot T_{M_1/M_2}\ ; \qquad (2)$$

გ) თუ ცნობილია მუშა ხსნარის მოლურობა M,

$$q=10^{-3}\cdot M\cdot V\cdot \frac{m_1}{m_2}\cdot M_1\ ; \qquad (3)$$

დ) თუ ცნობილია მუშა ხსნარის ნორმალურობა N,

$$q=10^{-3}\cdot V\cdot N\cdot E_1\ . \qquad (4)$$

აქ M_1 და M_2 შესაბამისად განსასაზღვრავი და მუშა ნივთიერებების მოლეკულური წონებია; E_1 და E_2— ეკვივალენტური წონებია; m_1 და m_2 — რეაქციის განტოლების კოეფიციენტებია.

მაგალითი 1. უნდა განვსაზღვროთ მწვავე ნატრის *NaOH* რაოდენობა, თუ მის ნეიტრალიზაციაზე (ლაკმუსის ფერის შეცვლამდე) დაიხარჯა H_2SO_4— ის ხსნარის 21,05 მლ (გოგირდმჟავას ტიტრი ტოლია 0,009810 გ/მლ $T_{H_2SO_4}=0,009810$).

ვინაიდან ნეიტრალიზაციის რეაქციისათვის

$$2NaOH+H_2SO_4=Na_2SO_4+2H_2O$$

განტოლების კოეფიციენტები $m_1=2$, $m_2=1$, ხოლო განსასაზღვრავი (*NaOH*) და მუშა (H_2SO_4) ნივთიერებების მასები ტოლია $M_1=40,00$ გ და $M_2=98,08$ გ, მწვავე ნატრის რაოდენობისათვის მივიღებთ

$$q=21,05\cdot 0,009810\cdot \frac{2\cdot 40,00}{1\cdot 98,08}=0,1685 \text{ გ } NaOH.$$

ამოვხსნათ იგივე მაგალითი იმ შემთხვევაში, თუ ჩვენთვის ცნობილია განსასაზღვრავი და მუშა ნივთიერების ეკვივალენტური წონები E_1=40,00 გ, E_2=98,08/2= 49,04 გ,

$$q = 21{,}05 \cdot 0{,}009810 \cdot \frac{40{,}00}{49{,}04} = 0{,}1685 \text{ გ } NaOH.$$

მაგალითი 2. რკინის უცნობი რაოდენობის ტიტვრისას დახარჯულია კალიუმპერმანგანატის ხსნარის 21,50 მლ. კალიუმპერმანგანატის ხსნარის ტიტრი რკინის მიხედვით $T_{KMnO_4/Fe}$=0,005620 (ეს ნიშნავს, რომ $KMnO_4$-ის მოცემული ხსნარის 1 მლ ჟანგავს 0,005620 გ *Fe*). განსასაზღვრავი რკინის რაოდენობა

$$q = 21{,}50 \cdot 0{,}005620 = 0{,}1210 \text{ გ.}$$

მაგალითი 3. უნდა განისაზღვროს ხსნარში *Cl*-ის იონის გრამების რაოდენობა, თუ მის დალექვაზე დაიხარჯა აზოტმჟავა ვერცხლის 0,1 მოლური ხსნარის (M_{AgNO_3}=0,1) 28,25 მლ. ვინაიდან $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$, კოეფიციენტები m_1=1, m_2=1 და *Cl*-ის მოლეკულური წონის (35,46 გ) გათვალისწინებით მივიღებთ

$$q = 10^{-3} \cdot 0{,}1 \cdot 28{,}25 \cdot \frac{1}{1} \cdot 35{,}46 = 0{,}1002 \text{ გ } Cl^-.$$

იმისათვის, რომ გადავიდეთ განსასაზღვრავი ნივთიერების მოძებნილი q რაოდენობიდან მის პროცენტულ შემცველობაზე *a* გრამის წონის წონაკში, უნდა ვისარგებლოთ ფორმულით $X = \frac{q}{a} \cdot 100$. თუ აუცილებელია განისაზღვროს წონაკში სატიტრი ნივთიერების შემადგენელი ნაწილის კონცენტრაცია, მაშინ ფორმულით $X = \frac{q \cdot F}{a} \cdot 100$ (F— ფაქტორი (მამრავლია)).

მაგალითი. ნივთიერების 0,2015 გ წონაკში უნდა განისაზღვროს *NaOH*-ის და *Na*-ის პროცენტული შემცველობა. ნივთიერების წონაკი გაიხსნა 30 მლ წყალში და ამ ხსნარის ტიტვრისას დაიხარჯა 20,50 მლ 0,1919 ნ *HCl*. ვინაიდან *NaOH*-ის გრამ-ეკვივალენტი იწონის 40 გ-ს, განსასაზღვრავი *NaOH* ნივთიერების რაოდენობა წონაკში ტოლი იქნება

$$q = 10^{-3} \cdot 20{,}50 \cdot 0{,}1919 \cdot 40 = 0{,}1573 \text{ გ } NaOH.$$

NaOH-ის კონცენტრაცია გამოსაკვლევ ნივთიერებაში

$$X = \frac{0{,}1573}{0{,}2015} \cdot 100 = 78{,}05\ \% .$$

Na-ის კონცენტრაცია გამოსაკვლევ ნივთიერებაში

$$X = \frac{0{,}1573}{0{,}2015} \cdot \left(\frac{23}{40}\right) \cdot 100 = \frac{0{,}1573}{0{,}2015} \cdot 0{,}575 \cdot 100 = 44{,}88\ \% .$$

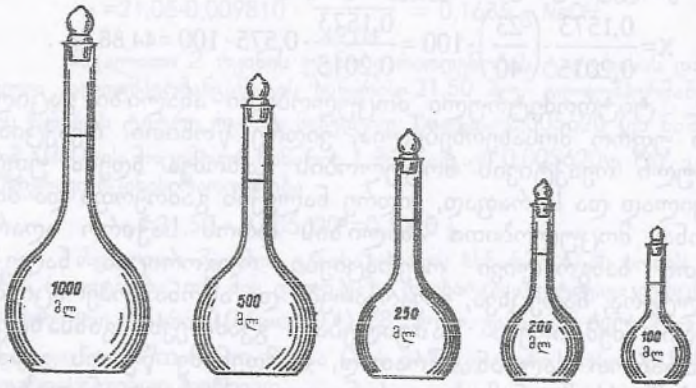
ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზი გაცილებით უფრო მოსახერხებელია, ვიდრე წონითი. რეაქციაში შესული რეაქტივის მოცულობის გაზომვა ხდება უფრო ადვილად და სწრაფად, ვიდრე ნალექის გამოყოფა და მისი აწონა. მოცულობითი ანალიზის დროს საჭირო აღარაა ისეთი ხანგრძლივი ოპერაციები როგორიცაა ნალექის ფილტვრა, ჩარეცხვა, გავარვარება და აწონა. ოპერაციების ასეთი შემცირება საშუალებას გვაძლევს განსაზღვრა ჩავატაროთ ძალიან სწრაფად, რამდენიმე წუთის განძავლობაში (რამდენიმე საათის ნაცვლად წონითი ანალიზით). ამდენად მოცულობითი ანალიზი წარმოადგენს მასობრივი განსაზღვრის მეთოდს. მოცულობითი ანალიზით განსაზღვრის სიზუსტე დაახლოებით ისეთივეა, როგორიც წონითისა (განსასაზღვრავი სიდიდის 0,02%-მდე). უნდა აღინიშნოს ის ფაქტიც, რომ მოცულობითი ანალიზისათვის გამოსადეგი რეაქციები გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე გრავიმეტრიული ანალიზისათვის გამოსადეგი რეაქციების რაოდენობა.

ტიტრომეტრული ანალიზის დროს გამოყენებული საზომი ჭურჭელი

ტიტრომეტრული ანალიზის სისწორეს განსაზღვრავს მოცულობების გაზომვის სიზუსტე. ამ სიზუსტის მისაღწევად ტიტრომეტრულ ანალიზში გამოიყენება საზომი ჭურჭელი (საზომი კოლბები, ცილინდრები, ბიურეტები და პიპეტები).

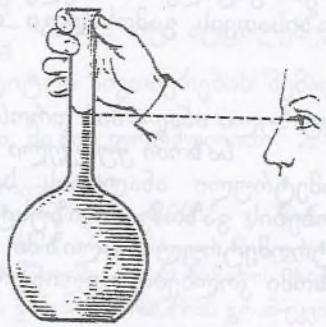
საზომი კოლბები გამოიყენება ხსნარების მოსამზადებლად. საზომი კოლბა წარმოადგენს ჭურჭელს გრძელი ვიწრო ყელით, რომელზეც დატანილია ნიშნული. საზომ კოლბებს ამზადებენ ძირითადად 50, 100, 200, 250,

500 და 1000 მლ, ზოგჯერ 2000 მლ ტევადობითაც კი (ნახ.37).



ნახ.37. საზომი კოლბები

საზომ კოლბებს ავსებენ სითხით ზუსტად ნიშნულამდე (თვალი უნდა იმყოფებოდეს მენისკის ქვედა კიდის დონეზე, ნახ.38).



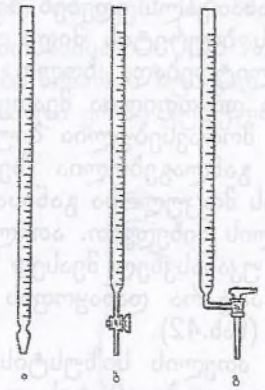
ნახ.38

საზომი ცილინდრები და *მენზურები* გამოიყენება რეაგენტების ხსნარების მხოლოდ მიახლოებითი გაზომვისათვის (ნახ.39). მათთვის გაზომვის ცდომილება იცვ-

ლება 0,2-დან 0,4 მლ-მდე ცილინდრის მოცულობის მიხედვით.



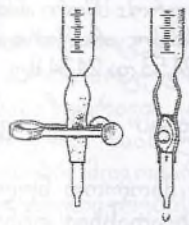
ნახ.39. საზომი ცილინდრები



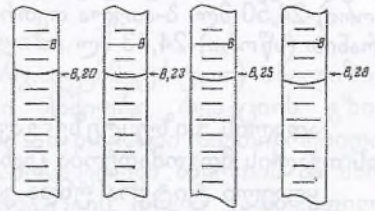
ნახ.40. ბიურეტები: ა-მომრგვალებული ბოლოთი; ბ-პირდაპირი ონკანით; გ-გვერდითი ონკანით

ბიურეტები წარმოადგენენ ცილინდრულ დაგრადუირებულ მილებს დავიწროებული ბოლოთი, რომლებიც თავდება ან ონკანით, ან სპეციალურად მომრგვალებული ნაწილით რეზინის მილის ჩამოსაცმელად (ნახ.40).

თუ გვაქვს ბიურეტი მომრგვალებული ბოლოთი, მასზე ჩამოაცმევენ რეზინის მილს, რომლის მეორე ბოლოსთან აერთებენ წვეტიან მინის მილს. რეზინის მილს კეტავენ სპეციალური მომჭერით ან ბურთულათი (ნახ.41).



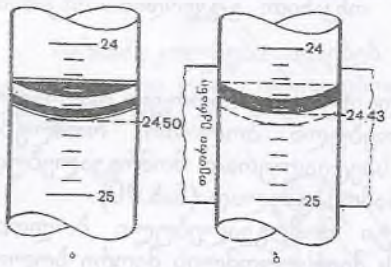
ნახ.41. მომჭერები



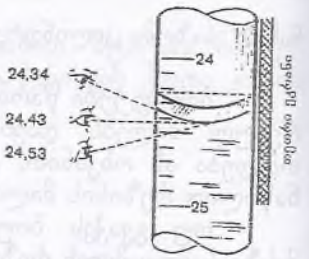
ნახ.42. სითხის მოცულობის ათვლა

ბიურეტებს ამზადებენ ძირითადად 25···50 მლ ტევადობით. ანათვალს იღებენ ბიურეტის სკალის მიხედვით. ამისათვის ბიურეტის მილი დიდი ნიშნულებით დაყოფილია მილილიტრებად, ხოლო თითოეული მილილიტრი ათი ხაზით დაყოფილია მეათედ ნაწილებად. ნულოვანი დანაყოფი მოთავსებულია ბიურეტის ზედა ნაწილში, დანაყოფები განლაგებულია ზემოდან ქვევით. გადმოსასხმელი სითხის მოცულობა განისაზღვრება ბიურეტში მისი დონის შეცვლის მიხედვით. ათვლას აწარმოებენ 0,02 მლ სიზუსტით, უკანასკნელ მეასედ ნაწილებს საზღვრავენ ვიზუალურად პატარა დანაყოფის ხუთ ტოლ ნაწილად დაყოფის გზით (ნახ.42).

ათვლის სიზუსტისათვის ქმნიან ხელოვნურ ფონს, რისთვისაც ბიურეტის უკან ათავსებენ თეთრ ეკრანს, ან ეკრანს შავი ზოლით თეთრ ფონზე (ნახ.43).



ნახ.43. სითხის მენისკი ბიურეტში: ა-ათვლა ეკრანის გარეშე (არასწორი)-24,50 მლ, ბ-ათვლა თეთრი ეკრანით (სწორი)-24,43 მლ



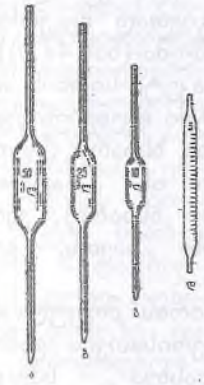
ნახ.44. ათვლა ბიურეტის მიხედვით თვალის სხვადასხვა მდგომარეობის დროს: სწორი ანათვალი-24,43 მლ; არასწორი ანათვლები-24,53 და 24,34 მლ

ათვლის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს დამკვირვებლის თვალის მდგომარეობა (ნახ.44).

ყოველი ტიტვრა უნდა ვაწარმოოთ მხოლოდ ნულოვანი წერტილიდან, ვინაიდან ბიურეტის სხვადასხვა უბნებს (სიგრძის მიხედვით) აქვთ არათანაბარი მოცულობები. ტიტვრისას დახარჯული სითხის მოცულობა უნდა შეადგენდეს ბიურეტის მოცულობის ნახევარს, ვინაიდან პრო-

ცენტული ცდომილებები უკუპროპორციულია ტიტვრაზე დახარჯული მოცულობისა. ასე, მაგალითად, ტიტვრაზე 5,00 მლ-ის დახარჯვისას ცდომილება შეადგენს 0,4 %, ხოლო ბიურეტიდან 25,00 მლ-ის გადმოსხმისას — 0,08 %.

პიპეტები (ნახ.45) გამოიყენება ხსნარის ზუსტად განსაზღვრული მოცულობის გაზომვისა და ერთი ჭურჭლიდან მეორეში გადატანისათვის.



ნახ.45. პიპეტები: ა,ბ,გ-ჩვეულებრივი პიპეტები ტევადობით 50, 25 და10 მლ; დ-საზომი პიპეტი ტევადობით 5 მლ



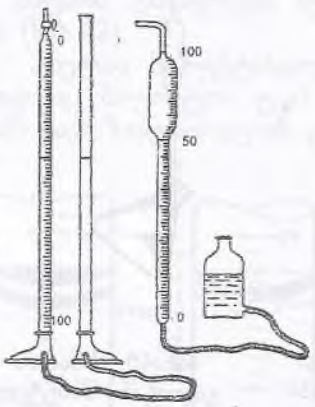
ნახ.46. ხსნარის გადატანა პიპეტით

პიპეტებს ამზადებენ 1;5;10;15;20;25;50 და 100 მლ ტევადობით.

აირის მოცულობითი ანალიზი

აირის მოცულობითი (აირვოლუმეტრული) ანალიზით განსაზღვრავი კომპონენტი ქიმიური რეაქციის გზით გამოიყოფა საანალიზო მყარი ან თხევადი ნივთიერებიდან აირისებრ მდგომარეობაში გამოსაკვლევი ნაერთის ან მარტივი ნივთიერების სახით. რეაქციის დროს გამოყოფილი აირის მოცულობის განსაზღვრის საფუძველზე მსჯელობენ განსაზღვრავი კომპონენტის რაოდენობის შესახებ.

მცირე მოცულობის აირის გაზომვას ახორციელებენ აირის ბიურეტებში. ფართო გავრცელება პოვა ჰემპელის ბიურეტმა (ნახ.47,ა). იგი წარმოადგენს ზიარჭურჭელს, ორ მინის მილს, რომლებიც დაკავშირებულია რეზინის მილით. ერთ-ერთი ჭურჭელი ასრულებს საზომი ნაწილის ფუნქციას და წარმოადგენს საკუთრივ ბიურეტს, დაკალიბრებულს 0,2···0,1 მლ-მდე სიზუსტით. ამ ბიურეტის მოცულობაა 100 მლ და აქვს ზემოთ ონკანი. მეორე მილი სათანაბრებელი ჭურჭელია (ამ მილის მაგივრად შეგვიძლია ავიღოთ სათანაბრებელი სარეაქტივო შუშა (ნახ.47,ბ)).



ნახ.47. აირის ბიურეტები:
ა-ჰემპელის; ბ-ორსის

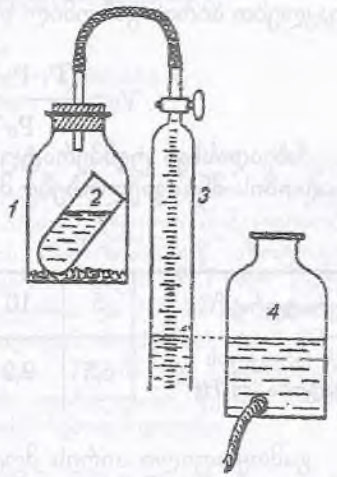
საკეტი სითხის სახით ბიურეტში იყენებენ წყალს, მარილის ხსხარს (სუფრის მარილის ან ნატრიუმსულფატის ხსნარი), ვერცხლისწყალს, ნავთს, გოგირდმჟავას.

აირის მოცულობის განსაზღვრისათვის გამოიყენება სხვადასხვა სპეციალური ხელსაწყო. ჩვეულებრივ[1] ასეთი ხელსაწყო საზომი ბიურეტისა და სათანაბრებელი ჭურჭლის გარდა შეიცავს ცალკე ჭურჭელს, რომელშიც ხდება საკვლევი ნივთიერების წონაკის დაშლა.

კარბონატების ანალიზისათვის გამოყენებული ასეთი ხელსაწყო ნაჩვენებია 48-ე ნახაზზე. ანალიზის წინ ჭურჭლის 4 ზევით აწევით ბიურეტს 3 ავსებენ საკეტი სითხით ონკანამდე და ონკანს კეტავენ. ბიურეტს აერთებენ ჭურჭელთან 1, რომელშიც ხდება ქიმიური რეაქცია. ონკანს ხსნიან და სათანაბრებელ ჭურჭელს 4 დააყენებენ ისეთ-

[1] ზოგიერთ ხელსაწყოში, მაგალითად, ნიტრატომეტრში ნიტრატების ანალიზისას ნივთიერების წონაკის დაშლა ხორციელდება უშუალოდ ბიურეტში.

ნაირად, რომ სითხე ამ ჭურჭელსა და ბიურეტში 3 იყოს ერთსა და იმავე დონეზე. საზღვრავენ ბიურეტში სითხის დონეს — იგი ნულის მახლობლად უნდა იყოს. ჭურჭელს 1 ნელა დახრიან, რეაქტივი (კარბონატში CO_2-ის განსაზღვრის შემთხვევაში ეს გოგირდმჟავაა) ჭიქიდან 2 გადმოიღვრება საკვლევი ნივთიერების წონაკზე. გამოყოფილი აირი (ჭურჭელში 1 არსებულ ჰაერთან ერთად) შეავსებს ბიურეტს. საკეტ სითხეს ჭურჭელში 4 და ბიურეტში 3 კვლავ აყენებენ ერთ დონეზე და იღებენ გამოყოფილი აირის მოცულობის ანათვალს. რეაქციის შედეგად გამოყოფილი აირის მოცულობა V (მილილიტრებში) განისაზღვრება ანათვალების სხვაობის მიხედვით ცდის ჩატარებამდე და ჩატარების შემდეგ.



ნახ.48

ძემდგომი გამოთვლებისათვის კლაპეირონის განტოლების გამოყენებით გაზომილი V მოცულობა T ტემპერატურის (ტემპერატურა აბსოლუტური სკალის ერთეულებში) და აირის P წნევის (ატმოსფერული წნევის) გათვალისწინებით უნდა დავიყვანოთ ნორმალურ პირობებამდე:

$$V_0 = \frac{P \cdot V \cdot 273}{P_0 \cdot T},$$

სადაც P_0=760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტისა (760 მმ *Hg*).

იმ შემთხვევებში, თუ აირის გაზომვას ვახორციელებთ წყლის ზედაპირის ზევით, ზუსტი ანალიზისათვის უნდა გავითვალისწინოთ, რომ წყლის ორთქლის გარკვეული რაო-

დენობა იკავებს გარკვეულ მოცულობას. ეს შესწორება წყლის ორთქლის დრეკადობაზე გათვალისწინებული იქნება, თუ მის მნიშვნელობას ცდის ტემპერატურის დროს (P_{20}) გამოვაკლებთ აირის გაზომილ წნევას (ატმოსფერულ წნევას),

$$V_0 = \frac{(P_1 - P_{20}) \cdot V \cdot 273}{P_0 \cdot T}. \qquad (5)$$

სხვადასხვა ტემპერატურის დროს წყლის ორთქლის დრეკადობის მნიშვნელობები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

ტემპერატურა, ^0C	5	10	15	20	25	30
წყლის ორთქლის დრეკადობა, მმ *Hg*	6,5	9,2	12.8	17,5	23,8	31,8

გამოყოფილი აირის მოცულობის ნორმალურ პირობებამდე დაყვანის შემდეგ აირის მოცულობას გადაიანგარიშებენ მის წონაზე. ამისათვის იყენებენ ავოგადრო-ჟერარის კანონს, რომლის თანახმადაც ნებისმიერი აირისებრი ნივთიერების გრამ-მოლეკულა ნორმალურ პირობებში იკავებს 22,41 ლ (22410 მლ) მოცულობას. გამოყოფილი აირის მასა გრამებში იქნება

$$q = \frac{V_0}{22410} \cdot M, \qquad (6)$$

სადაც M-მოცემული აირის გრამ-მოლეკულის მასაა.

თუ წონაკის მასაა *a* გრამი და ამ წონაკიდან გამოიყო q გრამი აირი, ამ უკანასკნელის პროცენტული შემცველობა იქნება

$$x = \frac{q}{a} \cdot 100\% = \frac{V_0 \cdot M}{22410 \cdot a} \cdot 100\ \% = \frac{(P_1 - P_{20})V \cdot 273 \cdot M}{22410 \cdot P_0 \cdot T \cdot a} \cdot 100\ \%, \qquad (7)$$

მაგალითი: კარბონატის ანალიზისათვის ზემოთ აღწერილ ხელსაწყოში (წახ.48) საკვლევი ნივთიერების 0,3245 გ წონაკიდან მისი

რეაგირებისას 6 ნ H_2SO_4-ის 4 მლ-თან მიიღეს 70,5 მლ CO_2 ხელსაწყოს შიგნით 5 ^0C ტემპერატურისა და 745 მმ *Hg* ატმოსფერული წნევის პირობებში. უნდა განისაზღვროს CO_2-ის პროცენტული შემცველობა წონაკში. ვინაიდან CO_2-ის გრამ-მოლეკულის მასაა 48 გ,

$$x = \frac{(745-6,5) \cdot 70,5 \cdot 273 \cdot 48}{22410 \cdot 760 \cdot (273+5) \cdot 0,3245} \cdot 100 = 44,4\ \%.$$

რეაქციის შედეგად გამოყოფილი აირის მიხედვით ირიბი გზით შეგვიძლია შევაფასოთ წონაკში რეაქციაში მონაწილე სხვა ელემენტების პროცენტული შემცველობაც.

მაგალითი: თუთიის მტვრის ანალიზისას ე.წ. აზოტომეტრში თუთიის მტვრის 0,2245 გ წონაკიდან მიიღეს 69,7 მლ წყალბადი ხელსაწყოს შიგნით 20 ^0C ტემპერატურისა და 759 მმ *Hg* ატმოსფერული წნევის პირობებში. მე-2 ცხრილიდან მოვძებნით, რომ 20 ^0C-ის დროს წყლის ორთქლის დრეკადობაა 17,5 მმ *Hg*. ექსპერიმენტული მონაცემების ჩასმით კლაპეირონის ფორმულაში წყლის ორთქლის დრეკადობაზე შესწორების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$V_0 = \frac{(759-17,5) \cdot 69,7 \cdot 273}{760 \cdot (273+20)} = 63,36\ \text{მლ}.$$

ნორმალურ პირობებამდე დაყვანილი მიღებული წყალბადის მოცულობიდან გამოვთვალოთ თუთიის ეკვივალენტური რაოდენობა ავოგადრო-ჟერარის კანონის საფუძველზე. რეაქციის განტოლებიდან წყალბადის 1 გრამ-მოლეკულას (22410 მლ) შეესაბამება თუთიის 1 გრამ-ატომი (65,38 გ).

მაშასადამე, V_0 მოცულობის შესაბამისი თუთიის რაოდენობა

$$q = \frac{v_0 \cdot 65,38}{22410} = \frac{63,36 \cdot 65,38}{22410} = 0,1848\ \text{გ}.$$

შემდეგ თუთიის მიღებული წონითი რაოდენობის პროცენტებში გადათვლისას საკვლევი თუთიის მტვრის წონაკის მიხედვით მივიღებთ

$$x = \frac{q \cdot 100}{0,2245} = \frac{0,1848 \cdot 100}{0,2245} = 82,3\ \%.$$

2.1.3. აირის ანალიზის ქიმიური მეთოდები

აირის ანალიზი აირების ნარევის ანალიზია მათი თვისებითი და რაოდენობითი შედგენილობის დადგენისათვის. აირის ანალიზის მეთოდიკა თავისებურია აირისებრი ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობის თავისებურების გამო, რომელიც ძოითხოვს აირის ანალიზისათვის გამოყენებულ განსაკუთრებულ აპარატურასთან მუშაობის ექსპერიმენტულ ჩვევებს. ამის გამო აირის ანალიზს ჩვეულებრივ გამოყოფენ ცალკე. ამჟამად აირის ანალიზი წარმოადგენს თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ნაწილს.

ასხვავებენ აირის ანალიზის ქიმიურ, ფიზიკურ-ქიმიურ და ფიზიკურ მეთოდებს.

აირის ანალიზის ქიმიური მეთოდები დაფუძნებულია: ა) აირის ნარევის კომპონენტების შთანთქმაზე სხვადასხვა რეაგენტებით; ბ) აირის ნარევის კომპონენტების ქიმიურ ურთიერთქმედებაზე, რომელსაც თან ახლავს მისი მოცულობის შეცვლა.

პირველ შემთხვევაში საანალიზო ნაწილი შთაინთქმება რომელიმე შთამნთქმელის ხსნარით (აბსორბცია) ან მყარი შთამნთქმელის ზედაპირით (ადსორბცია); ორივე შემთხვევაში აირის მოცულობის შემცირება უშუალოდ საძიებელი შემადგენელი ნაწილის მოცულობის ტოლია. აირების **აბსორბციული** ანალიზის მაგალითს წარმოადგენს საცეცხლის აირებში ნახშიროროჟანგის განსაზღვრა, რომლის დროსაც ნახშიროროჟანგის (CO_2) რაოდენობის შესახებ მსჯელობენ აირის აღებული სინჯის მოცულობის შემცირების მიხედვით ტუტის (მაგალითად *KOH*) კონცენტრირებულ ხსნართან მისი შეხჯღრევის შემდეგ; ტუტის ხსნარი შთანთქავს აირადი ნარევიდან მხოლოდ ნახშიროროჟანგს. ჟანგბადს შთანთქავს პიროგალოლის ტუტე ხსნარი, უჯერ ნახშირწყალბადს—ბრომიანი წყალი. აირის **ადსორბციული** ანალიზის მაგალითს წარმოადგენს წყალბადის განსაზღვრის ხერხი უმოქმედო აირების (აზოტი, კეთილშობილი აირები და სხვ.) ნარევში საკვლევი ნარევის გატარებისას დაფუჭვილ პალადიუმზე; უკანასკნელი ახორციელებს

საანალიზო ნარევიდან მხოლოდ წყალბადის ადსორბირებას.

აირის ანალიზის მეორე მეთოდით ხორციელდება მისი საანალიზო ნაწილის ქიმიური ურთიერთქმედება სხვა აირთან; ამ შემთხვევაში განსასაზღვრავი აირის მოცულობა რეაქციის შემდეგ აირის ნარევის მოცულობის შემცირების ტოლი არ არის, არამედ გამოითვლება რეაქციის განტოლების საფუძველზე. ძირითადად ეს აირის განსასაზღვრავი ნაწილის დაწვის ხერხია. ამ მეთოდის მაგალითის სახით შეგვიძლია განვიხილოთ წყალბადის განსაზღვრა მისი დაწვის გზით იმ ჟანგბადის ხარჯზე, რომელსაც ანალიზის დროს ვუმატებთ ნარევს სიჭარბით. ამ დროს აირის ნარევის მოცულობის შემცირება საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ წყალბადის განსასაზღვრავი რაოდენობა.

ზოგიერთ შემთხვევაში იყენებენ კომპლექსურ მეთოდს, რომელიც წარმოადგენს ზემოთ აღნიშნული მეთოდების კომბინაციას. აირის ანალიზის კომპლექსურ მეთოდს წარმოადგენს, მაგალითად, მეთანის განსაზღვრა დაწვით. ამ დროს ერთდროულად გამოიყენება აირების ნარევის კომპონენტებს შორის (მეთანი და ჟანგბადი) ქიმიური ურთიერთქმედება და აბსორბცია ნახშიროროჟანგის შემდგომი შთანთქმისას *KOH* -ის ხსნარით.

აირის ანალიზისათვის იღებენ აირის შედარებით მცირე სინჯებს (100 მლ).

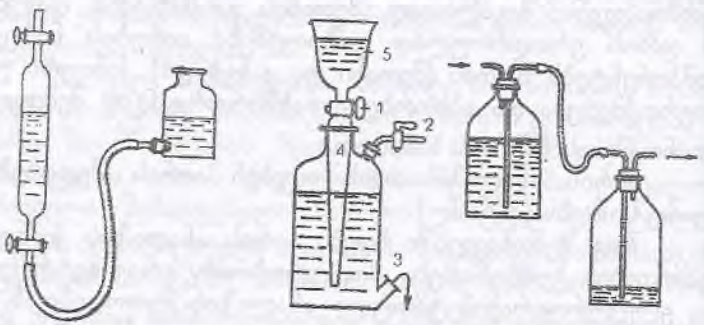
რიგ შემთხვევებში ხდება აირის ანალიზის ქიმიური მეთოდების კომბინირება მოცულობითი, გრავიმეტრიული და ელექტროგრავიმეტრიული ანალიზის მეთოდებთან. ამ დროს ჯერ წარმოებს საანალიზო ნარევის განსასაზღვრავი კომპონენტის ან კომპონენტების ნარევის შთანთქმა ჭარბი შთამნთქმელი ნივთიერების შემცველი ხსნარით, ხოლო შემდეგ ტიტვრით, დალექვით, ელექტროდალექვით და ა.შ. გამოუყენებელი შთამნთქმელის სიჭარბის ან შთანთქმული საძიებელი ნივთიერების განსაზღვრა. ასეთი ანალიზის მაგალითს წარმოადგენს ჰაერში რეაქციის უნარის მქონე აირების და ორთქლის უმნიშვნელო რაოდენობის განსაზღვრა. ჰაერში SO_2-ის განსაზღვრისათვის ჰაერის საკმაოდ დიდ მოცულობას (ლიტრები და კუბური მეტრებიც კი)

ატარებენ კალიუმიოდიდში—იოდის დატიტრულ ხსნარში, რომელიც ჟანგავს გოგირდოვან აირს გოგირდმჟავამდე. შემდგომი ტიტვრით საზღვრავენ გოგირდოვანი აირის დაჟანგვაზე დახარჯულ იოდის რაოდენობას და ჰაერში გოგირდოვანი აირის კონცენტრაციას.

აირის ანალიზისათვის გამოყენებული ხელსაწყოები ცნობილია როგორც აირანალიზატორები. აირის ქიმიური ანალიზისათვის გამოყენებული აპარატი შეიცავს შემდეგ დამხმარე მოწყობილობებს: მოწყობილობები აირის სინჯების აღების, მოცულობის გაზომვის და დაწვისათვის, ჭურჭლები შთამნთქმელებით.

ამ მოწყობილობების სპეციფიკურობის გამო მოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

აირის სინჯების აღებისათვის გამოიყენება სხვადასხვა ჰერმეტულად დასახური ჭურჭლები (ჩვეულებრივ ონკანებით) (ნახ.49).



ა ბ გ

ნახ.49. ხელსაწყოები აირის სინჯის აღებისათვის

პიპეტი აირის სინჯისათვის (ნახ.49,ა) წარმოადგენს გარკვეული მოცულობის მინის ჭურჭელს ორი ონკანით; ერთი მათგანი რეზინის მილითაა მეერთებული სათანაბრებელ სარეაქტივო შუშასთან (ჭურჭელთან). პიპეტს ავსებენ წყლით, ხოლო შემდეგ სინჯის აღებისას უშვებენ ქვევით სარეაქტივო შუშას და ხსნიან ონკანს, წყალი

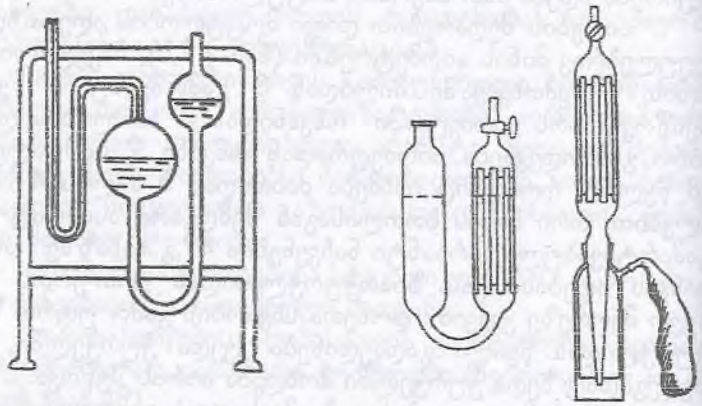
გადაედინება სარეაქტივო შუშაში, შეიწოვს აირს პიპეტში ზედა ონკანიდან. ჩვეულებრივ ასეთი სახის პიპეტების გრადუირება ხდება მათ საერთო მოცულობაზე.

აირების შედარებით დიდი მოცულობის აღება ხდება ჩვეულებრივ მინის აირმეტრებში (ნახ. 49,ბ), ჩაკეტილი ონკანის 1 შემთხვევაში მილიდან 3 გამოშვებული წყალი შეიწოვს აირს აირმეტრში ონკანიდან 2. ანალიზის დროს აირი გამოიდევნება აირმეტრიდან ონკანი 2 საშუალებით იმ წყლით, რომელიც ისხმება ძაბრიდან 5 მილის 4 საშუალებით. ორი მინის ბოთლისაგან შემდგარი ასპირატორის გაძარტივებული ვარიანტი ნაჩვენებია 49,გ ნახაზზე . აირის სინჯის აღებისათვის ზიარჭურჭლებიდან ერთ-ერთს დავწევთ მეორეზე ქვევით: დოხეთა სხვაობის გამო უფრო ზედა ჭურჭლიდან წყალი გადაედინება ქვედა ჭურჭელში, რის შედეგადაც ზედა ჭურჭელში მოხდება აირის შეწოვა.

აირის მოცულობის გაზომვისათვის გამოიყენება ჰემპელის, ორსის საზომი ბიურეტები (იხ. ნახ.47), წინასწარ დაკალიბრებული მინის აირმეტრები მოცულობით 4-დან 25 ლიტრამდე, აირის საათები და რეომეტრები დინამიკურ პირობებში აირის დიდი მოცულობის გასაზომად.

აირის შთანთქმისათვის გამოიყენება ხსნარები ან მყარი ნივთიერებები, რომელთაც ათავსებენ სპეციალურ ჭურჭლებში — აირის პიპეტებში, სხვადასხვა ტიპის სარეაქტივო შუშებში, U -სებრ მილებში და ა.შ. აირის პიპეტი წარმოადგენს აირის ანალიზის უმნიშვნელოვანეს დამხმარე აპარატურას. 50,ა ნახაზზე ნაჩვენებია ჰემპელის ფართოდ გავრცელებული აირის პიპეტი, რომელსაც აქვს ორბურთულიანი ჭურჭლის სახე მასში ჩასხმული შთამნთქმელი სითხით. ჩასხმული სითხის მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს ერთ ბურთულასა და შემაერთებელი ნაწილის მოცულობას. ჰემპელის პიპეტის შედარებით ქვევით განლაგებულ ბურთულას აქვს კაპილარული მილი, რომლის საშუალებითაც აირის ბიურეტებიდან შეიტანება საანალიზო აირის გაზომილი მოცულობა. საანალიზო აირი ავსებს პიპეტის ქვედა ბურთულას, რომლიდანაც გამოდევნის შთამნთქმელ სითხეს ზედა ბურთულაში. აირთან შეხებაში მყოფი სითხე შთანთქავს საანალიზო ნაწილს. სითხის შენჯღრევა აჩქარებს შთანთქმის პროცესს. შთანთქმის შემდეგ აირის დარ-

ჩენილი მოცულობა კვლავ უნდა დავაბრუნოთ ბიურეტში გაზომვისათვის.



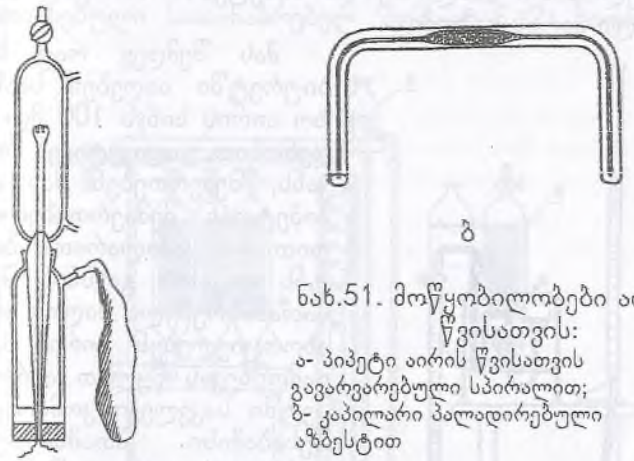
ა ბ გ

ნახ. 50. აირის პიპეტები

ხელსაწყოში საცეცხლე აირის ანალიზისათვის (ორსის აპარატი) იყენებენ ცილინდრულ პიპეტს ონკანით. შთანთქმის ზედაპირის გაზრდისათვის ცილინდრული პიპეტი გავსებულია მინის მილებით (ნახ.50,ბ). სხვა ფორმის პიპეტებში ჭურჭლები გვერდით კი არ არის განლაგებული, არამედ ერთმანეთზე (ნახ.50,გ) ან ერთმანეთში. პიპეტის თითოეული ზიარჭურჭლის მოცულობა მიკროანალიზის დროს 120-150 მლ რიგის უნდა იყოს.

აირის წვა ხორციელდება: ან ასაფეთქებელ პიპეტში ელექტრული ნაპერწკლით, ან პიპეტში ელექტრული დენით გახურებული მავთულით, ან პლატინის კაპილარულ მილში სანთურას ალით გახურებით, ან მინის მილში წვის დამაჩქარებელი კატალიზატორით (ამ დროს მცირდება აუცილებელი გახურების სიდიდე). ყველაზე ფართოდ გამოიყენება პიპეტები გასახურებული სპირალით და კაპილარები პალადირებული აზბესტით. პიპეტში გასახურებელი სპირალით (ნახ.51,ა) ელექტრული დენის გავლისას პლატინის მავთუ-

ლისაგან დამზადებულ სპირალში ის გავარვარდება და მის ზედაპირზე წარმოებს აირის წვა. სანათი აირის ანალიზის შემთხვევაში ВТИ ხელსაწყოს ზედა ჭურჭელი, რომელშიც წარმოებს მეთანის წვა, ცივდება გარედან გამდინარე წყლით. ამისათვის გამოიყენება მეორე გარე ჭურჭელი, რომელსაც აქვს პიპეტი და ორი მილი ცივი წყლის მიყვანისა და არინებისათვის.



ბ

ა

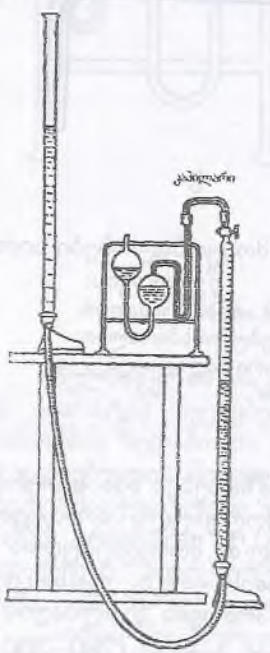
ნახ.51. მოწყობილობები აირის წვისათვის:
ა- პიპეტი აირის წვისათვის გავარვარებული სპირალით;
ბ- კაპილარი პალადირებული აზბესტით

მინის კაპილარს (ნახ.51,ბ) ამზადებენ მინის თერმომეტრიული მილისაგან, რომლის მოღუნული მონაკვეთის შუაში პატარა გაფართოებულ ნაწილში მოთავსებულია პალადირებული აზბესტი ან სპილენძის ჟანგი. უკანასკნელ შემთხვევაში მილის გახურებისას წარმოებს წყალბადის ან CO-ს წვა სპილენძის ჟანგის ჟანგბადის ხარჯზე (280···300 ^{0}C დროს იწვება მხოლოდ CO, 300···350 ^{0}C დროს იწვება წყალბადი; მეთანი ამ დროს არ იწვება). მილის გახურებისათვის გამოიყენება სპეციალური გამახურებელი, რომელიც დარეგულირებულია საჭირო ტემპერატურაზე.

აირის ქიმიური ანალიზის მეთოდიკაში გამოიყენება სხვადასხვა აპარატები. ყველაზე ფართო გამოყენება აქვს: აპარატს საცეცხლე აირების ანალიზისათვის (ორსის აპა-

რატი) და აპარატს სანათი აირის ანალიზისათვის (ჰემპელის აპარატი, ВТИ აპარატი და სხვა).

ჰემპელის აპარატი გამოიყენება სხვადასხვა აირების ნარევის ანალიზისათვის. იგი შედგება საზომი ბიურეტისაგან სათანაბრებელი მილით 100 მლ-ზე და აირის პიპეტების ნაკრებისაგან. საზომი ბიურეტის საშუალებით ხორციელდება საანალიზო აირის სინჯის აღება (იხილეთ აირის მოცულობითი ანალიზი) და პიპეტებში ნარჩენი, შთაუნთქელი აირის გაზომვა.



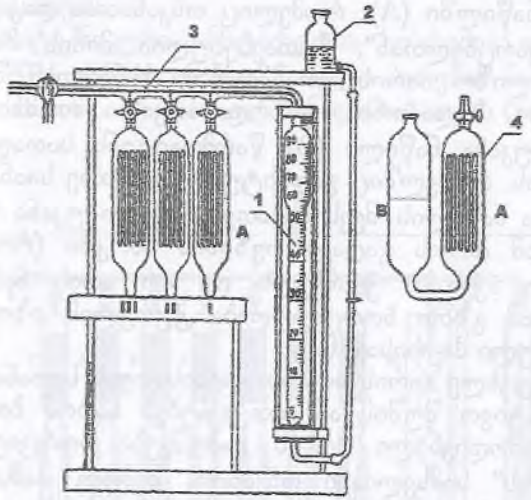
ნახ.52.ჰემპელის აპარატი

მას შემდეგ რაც საზომ ბიურეტში აიღებენ საანალიზო აირის სინჯს 100 მლ რაოდენობით, გადაკეტავენ მის ონკანს, შეაერთებენ მას აირის პიპეტთან შემაერთებელი ხიდით — კაპილარით. ბიურეტის ონკანის გახსნის შემდეგ სათანაბრებელი მილის აწევით ახორციელებენ აირის სინჯის გამოწნევას წყლით აირის პიპეტში საკვლევი კომპონენტის შესაბამისი შთამნთქმელით. გარკვეული დროის შემდეგ საწონასწორებელი მილის დაწევით აირს კვლავ შეიწოვენ ბიურეტში. აირის საანალიზო კომპონენტის შთანთქმის შედეგად აირის პიპეტში მოცულობა შემცირდება. აირის გადაყვანის პროცედურა ბიურეტიდან პიპეტში მეორდება რამდენჯერმე მანამ, სანამ არ შეწყდება აირის მოცულობის შემცირება. მაშინ ბიურეტის ონკანს გადაკეტავენ, გაათანაბრებენ სითხის დონეებს ბიურეტში და სათანაბრებელ ჭურჭელში და ზუსტად გაზომავენ დარჩენილი აირის მოცულობას. სხვაობა აირის საწყის და დარჩენილ მოცულობას შორის საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ საანალიზო კომპონენტის შემცველობა.

რთული აირების ნარევის შემთხვევაში შემადგენელი ნაწილების განსაზღვრისათვის მიმდევრობით გამოიყენება პიპეტები სხვადასხვა შთამნთქმელებით.

ორსის აპარატი გამოიყენება ძირითადად საცეცხლე აირის ანალიზის დროს, როდესაც სათბობის წვის სისწორის კონტროლისათვის უნდა განისაზღვროს აირების ნარევში ნახშირორჟანგის, ჟანგბადისა და ნახშირჟანგის შემცველობა.

ორსის აპარატში (ნახ.53) ბიურეტი 1 შტატივშია გაერთიანებული სათანაბრებელ ჭურჭელთან 2. ბიურეტი



ნახ.53. ორსის აპარატი

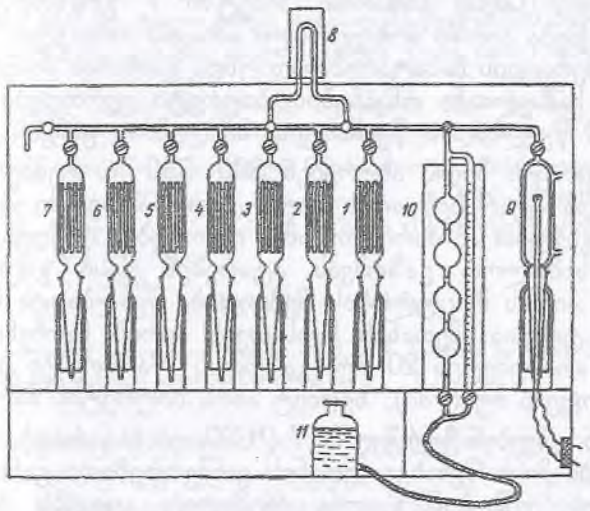
შეერთებულია სპეციალური „სავარცხლით" 3 სამ პიპეტთან (I,II,III) ზემოთ ხსენებული კომპონენტების შთანთქმისათვის. „სავარცხელი" შედგება მინის კაპილარული მილისაგან სამი ჩვეულებრივი ონკანით (პიპეტებისათვის) და ერთი სამსვლიანი ონკანისაგან (სინჯის აღებისა და ბიურეტიდან აირის გამოშვებისათვის). ამრიგად ორსის ხელსაწყოსთან მუშაობისას აღარაა საჭირო სხვადასხვა პიპეტების მოხსნა და მიერთება (როგორც ამას აკეთებენ ჰემპელის

აპარატ'ში). ორსის აპარატის შევსებისას პირველ შთამნთქმელ ჭურჭელში (პირველ პიპეტში) ასხამენ ტუტის (*KOH*) ხსნარს (ნახშიროროჟანგის შთანთქმისათვის), მეორე ჭურჭელში — პიროგალოლის ტუტე ხსნარს (ჟანგბადის შთანთქმისათვის), მესამე ჭურჭელში — ქვესპილენძქლორიდის ამიაკურ ხსნარს (ნახშირჟანგის შთანთქმისათვის). შთამნთქმელ ჭურჭლებს 4 ავსებენ შთამნთქმელი ხსნარებით ისე, რომ ჭურჭლების წინა (A) და უკანა (B) ნახევრებში ხსნარების თანაბარი დონეების დროს დაკავებული იყოს მოცულობის ნახევარი. შთამნთქმელი ჭურჭლის წინა ნაწილში (A), რომელიც ონკანითაა დაკავშირებული „სავარცხელთან", მოთავსებულია მინის მილების კონა საანალიზო აირის შთამნთქმელ ხსნართან შეხების სასარგებლო ზედაპირის გაზრდისათვის. შთამნთქმელი ჭურჭლის უკანა ნაწილი (B) წარმოადგენს სათადარიგო რეზერვუარს, რომელშიც გადაიტუმბება სითხე საანალიზო აირით წინა ნაწილის შევსებისათვის. ჰაერი უკანა (B) ნაწილიდან ამ დროს გადავა რეზინის პარკში (რომელიც ჩამოცმული აქვს B ჭურჭელს და არ არის ნაჩვენები ნახაზზე). ამ გზით ხორციელდება ჭურჭლის იზოლაცია ატმოსფერული ჰაერისაგან.

საცეცხლე აირის სინჯის აღებისათვის სათანაბრებელი სარეაქტივო შუშის აწევით ავსებენ საზომ ბიურეტს წყლით; გამოდევნილი ჰერის გამოშვება ხორციელდება „სავარცხლის" სამსვლიანი ონკანით. შემდეგ სამსვლიანი ონკანის მდგომარეობის შეცვლით „სავარცხელს" აერთებენ საანალიზო აირთან და სათანაბრებელი ჭურჭლის დაშვებით შეიწოვენ საზომ ბიურეტში საცეცხლე აირის 100 მლ. ამის შემდეგ სამსვლიანი ონკანის გადაყვანით მესამე მდგომარეობაში იწყებენ ანალიზს საანალიზო ნარევის დამუშავების მიმდევრობის გარკვეული სისტემის დაცვით.

I პიპეტის ონკანის გახსნის შემდეგ სათანაბრებელი შუშის აწევით ხორციელდება აირის სინჯის გამოდენა *KOH*-ის ხსნარის შემცველ შთამნთქმელ ჭურჭელში, სადაც რამდენიმე წუთის განმავლობაში შთაინთქმება ნახშიროროჟანგი (CO_2). შუშის დაწევით აირს შეიწოვენ კვლავ ბიურეტში და იმეორებენ აირის გადაადგილებას პიპეტში რამდენჯერმე მანამ, სანამ არ შეწყდება CO_2-ის შთანთქმა. ამ პიპეტის ონკანის ჩაკეტვის შემდეგ აწარმოებენ დარჩენილი აირის მოცულობის გაზომვას (ამ დროს წყლის დონეები ბიურეტში და სათანაბრებელ ჭურჭელში ერთ სიმაღლეზე უნდა იყოს) და CO_2-ის შთანთქმული რაოდენობის ჩაწერას. შემდეგ გადადიან ჟანგბადის შთანთქმაზე II პიპეტის და სათანადო ონკანის გამოყენებით. ჟანგბადის შთანთქმისა და შთანთქმული რაოდენობის ჩაწერის შემდეგ ხორციელდება ნარჩენი აირის გამოდენა მესამე ჭურჭელში (III) *CO*-ს შთანთქმისათვის.

თბოტექნიკური ინსტიტუტის სისტემის აირანალიზატორი ВТИ განკუთვნილია რთული აირების ნარევის, და კერძოდ, სანათი აირის სრული ანალიზისათვის (ნახ.54).



ნახ.54. აირანალიზატორი ВТИ

იგი შედგება: შვიდი პიპეტისაგან შთამნთქმელი ხსნარებით 1···7, კვარცის მინისაგან დამზადებული კაპილარისაგან 8, რომელიც შევსებულია სპილენძის ჟანგით (მცირე ელექ-

ტრულ ღუმელში გახურებისას წყალბადის წვისათვის); პიპეტისაგან მეთანის დაწვისათვის 9; ორმაგი საზომი ბიურეტისაგან 10 სათანაბრებელი სარეაქტივო შუშით 11. ხელსაწყოს ყველა ნაწილი შეერთებულია მინის „სავარცხლით“ და მათი დაკავშირება ერთმანეთთან ხორციელდება მინის ონკანების საშუალებით.

აირი მიმდევრობით გადაჰყავთ ბიურეტიდან პიპეტებში 1···7. პიპეტში 1 *KOH* -ის ხსნარით ხდება CO_2-ის შთანთქმა; შემდეგ პიპეტში 2 — *KBr* ხსნარით მძიმე (უჯერი) ნახშირწყალბადების შთანთქმა. დარჩენილი მოცულობის გაზომვამდე უნდა მოხდეს აირიდან ბრომის ორთქლის შთანთქმა ტუტით პიპეტში 1. შემდეგ პიპეტში 4 პიროგალოლის ხსნარით ხდება ჟანგბადის შთანთქმა, პიპეტებში 5 და 6 *CO*-ს შთანთქმის შემდეგ — ქვესპილენძქლორიდის Cu_2Cl_2 ხსნარით პიპეტში 7 გოგირდმჟავით შთაინთქმება აირში მოხვედრილი ამიაკის ორთქლი. შემდგომი ოპერაციის ჩასატარებლად უნდა გაიხსნას პიპეტის 3 ონკანი, სამსვლიანი ონკანებით ბიურეტი უერთდება კაპილარს 8 წყალბადის წვისათვის, სპილენძის ჟანგის შემცველი კვარცის მილს ახურებენ 300···350 °C ტემპერატურამდე და ატარებენ აირს ბიურეტიდან პიპეტში 3 კაპილარის გავლით ან პირიქით. ამას იმეორებენ რამდენჯერმე. აირის საბოლოო გაზომვას ატარებენ მისი გაცივების შემდეგ. აირის მოცულობის შემცირება წყალბადის მოცულობის ტოლია. მეთანის წვისათვის აირის ნარჩენისაგან იღებენ არა უმეტეს 20 მლ (გაზომვას აწარმოებენ ბიურეტის მარჯვენა მუხლში); ზედმეტ აირს ბიურეტის მარცხენა მხრიდან უშვებენ ჭურჭელში 7 (H_2SO_4-ის ხსნარით), სადაც წარმოებს მისი შენახვა მეთანის განმეორებითი განსაზღვრისათვის. უშვებენ წყალს, რომელიც აცივებს პიპეტს მეთანის წვისათვის. ბიურეტის მარცხენა მუხლში იღებენ ჰაერის 80 მლ და შემდეგ გადაჰყავთ მთელი აირი ბიურეტიდან ჭურჭელში 9 მეთანის წვისათვის. რეოსტატის გავლით ატარებენ ელექტრულ დენს პიპეტის პლატინის სპირალის გასახურებლად 850···900 °C-მდე. გადაჰყავთ აირი ისევ ბიურეტში და ზომავენ მას, ხოლო შემდეგ შთანთქავენ

CO_2-ს ტუტით (პიპეტში 1) და კვლავ ზომავენ აირს. აირის მოცულობის შემცირებას მეთანის წვისას გადაითვლიან მეთანზე აირის ნაშთის აღებულ ნაწილში, ხოლო შემდეგ გადაითვლიან მთელ აირის ნაშთზე; ბოლოს გამოითვლება მეთანის პროცენტი მთელ აირში.

სანათი აირის გამოთვლის მაგალითი. დავუშვათ, ანალიზისათვის აღებულია აირის 100 მლ. CO_2-ის შთანთქმის შემდეგ დარჩა 98 მლ, ე.ი. CO_2 -ის შემცველობაა 100-98=2 %. მძიმე ნახშირწყალბადების შთანთქმისა და აირის ბრომის ორთქლისაგან გამორეცხვის შემდეგ მოცულობა შემცირდა 94,2 მლ-მდე; მაშასადამე მძიმე ნახშირწყალბადები აირში ყოფილა 98,0-94,2=3,8 %. ჟანგბადის შთანთქმის შემდეგ მოცულობა ტოლი გახდა 93,5 მლ, მაშასადამე, ჟანგბადის პროცენტია 94,2-93,5=0,7. ნახშირჟანგის შთანთქმისა და ამიაკისაგან გამორეცხვის შემდეგ აირის მოცულობა შემცირდება 84,0-მდე, რაც შეესაბამება *CO*-ს შემცველობას აირში: 93,5-84,0=9,5 %. წყალბადის წვის შემდეგ მოცულობა 34,8 მლ ტოლი გახდა, მაშასადამე წყალბადის პროცენტია 84,0-34,8=49,2 %. მეთანის ანალიზისათვის წვით აირის ნარჩენიდან აიღეს 12 მლ; ეს მოცულობა ჰაერით შეავსეს 96 მლ-მდე. მეთანის დაწვის შემდეგ აირის მოცულობა შემცირდა 83,7 მლ-მდე, ხოლო მეთანიდან მიღებული ნახშიროორჟანგის შთანთქმის შემდეგ —73,3 მლ-მდე. მეთანის რაოდენობა მიღებული CO_2-ის რაოდენობის[1] ტოლია (CH_4-ის 1 მოცულობას→CO_2 -ის 1 მოცულობა), ე.ი. 83,7-73,3=10,4 მლ. მეთანის ეს რაოდენობა იყო აირის ნაშთის 12 მლ-ში; აირის მთელ ნაშთში (ე.ი. 34,8 მლ) იყო:

$$10{,}4 \cdot \frac{34{,}8}{12} = 30{,}16 \text{ მლ} \approx 30{,}2 \text{ მლ},$$

ე.ი. სანათი აირი შეიცავდა მეთანის 30,2 % (აირის ნაშთის 34,8 მლ შეესაბამებოდა სანათი აირის 100 მლ-ს).

როგორც ვხედავთ, აირის ანალიზის მეთოდიკაში კარგადაა დამუშავებული საცეცხლე აირების, კრეკინგის აირების, სანათი აირების მთავარი კომპონენტების— ნახშიროორჟანგის, ჟანგბადის, ნახშირჟანგის, ნახშირწყალბადების, წყალბადის — განსაზღვრის მეთოდები. მთავარი კომპონენტების განსაზღვრის შემდეგ მიღებულ ნარჩენს (ნაშთს) თვლიან აზოტად.

[1] $CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O$

ატმოსფერული ჰაერის ანალიზისას ძთანთქმის ცნობილი მეთოდებით რეაქციის უნარის მქონე კომპონენტების (ჟანგბადის, ნახშიროროჟანგის) განსაზღვრის შემდეგ ნარჩენში აღმოჩნდება აზოტი, ატმოსფეროს უმოქმედო აირები (ჰელიუმი, ნეონი, არგონი, კრიპტონი, ქსენონი, რადონი). აზოტს გააჩნია უნარი ზოგიერთ რეაქციაში შესვლისა; ამიტომ მას ატარებენ მილში გახურებული კალციუმით, რის შედეგადაც ხდება აზოტის შეკვრა კალციუმის ნიტრატის სახით ($3Ca+N_2=Ca_3N_2$). აზოტის გამოყოფის შემდეგ ნარჩენში დაგვრჩება მხოლოდ უმოქმედო აირების ნარევი. უმოქმედო აირების დაცალკევებისათვის ქიმიური რეაქციები აღარ გამოდგება. ამისათვის მიმართავენ შთანთქმის მეთოდს, რომელიც დაფუძნებულია აირების ადსორბციაზე ზოგიერთი მაღალფორიანი მყარი სხეულით— ადსორბენტით (მაგალითად, აქტიური ნახშირი).

დიდი ყურადღება ეთმობა აგრეთვე ჰაერში მცირე რაოდენობის მავნე აირისებრი და ორთქლისებრი მინარევების განსაზღვრას. ამ შემთხვევაში მცირე კონცენტრაციის გამო ორსის, ჰემპელის და სხვა ტიპის აპარატების ნაცვლად იყენებენ ანალიზის დინამიკურ მეთოდებს. საანალიზო აირების ნარევს გარკვეული სიჩქარით (იზომება აირის საათით ან რეომეტრით) ატარებენ ჭურჭელში, რომელიც შეიცავს ხსნარს ჰაერში განსასაზღვრავი მინარევის შთამნთქმელი რეაქტივებით. ჰაერში მინარევის შემცველობის გაანგარიშებისათვის რეომეტრით ან აირის საათის საშუალებით აღნიშნავენ შთამთქმელის ხსნარში გატარებული აირის რაოდენობას და შემდეგ, ჩვეულებრივ ტიტვრის გზით, განსაზღვრავენ შთამთქმელის ხსნარში რეაქტივის რაოდენობას, რომელიც დაიხარჯა მავნე მინარევის შეკვრაზე. მიღებული მნიშვნელობებით გამოითვლიან მავნე მინარევის კონცენტრაციას. განვიხილოთ ჰაერში ქლორისა და წყალბადციანმჟავას განსაზღვრის მაგალითები.

ჰაერში ქლორის თვისებითი განსაზღვრისათვის არსებობს სხვადასხვა ფერადი რეაქციების დიდი რაოდენობა. ქლორის შემცველ ჰაერში ლურჯდება საფილტრავი ქაღალდი, რომელიც გაჟღენთილია *KI*-ის 5%-იანი წყალხსნარისა და სახამებლის ბუბკოს 0,2%-იანი ხსნარის

თანაბარი მოცულობების ნარევით. ჰაერში ქლორის რაოდენობითი განსაზღვრა ხორციელდება შემდეგნაირად: ორ ჭიქევროზით შეერთებულ სარეაქტივო შუშაში დარიშხანოვანი ანჰიდრიდის 0,002 ნ ხსნარით ერთი საათის განმავლობაში წუთში 200 მლ სიჩქარით ატარებენ ქლორის მინარევის შემცველ ჰაერს. ცდის დამთავრების შემდეგ ორივე სარეაქტივო შუშის შიგთავსი ჩამოირეცხება კონუსურ კოლბაში და დარჩენილ ჭარბ დარიშხანოვანმჟავას ტიტრავენ იოდის 0,002 ნ ხსნარით. ქლორის რაოდენობის გაანგარიშება ჰაერში მილიგრამებში წარმოებს ფორმულით

$$a=A(V_1\cdot N_1-V_2\cdot N_2),$$

სადაც V_1 და N_1 შესაბამისად დარიშხანოვანმჟავას აღებული ხსნარის მოცულობა და ნორმალურობაა; V_2 და N_2 - ჭარბი დარიშხანოვანმჟავას შებრუნებულ ტიტვრაზე დახარჯული იოდის ხსნარის მოცულობა და ნორმალურობაა; A-ქლორის ატომური წონა. ქლორის კონცენტრაციის გაანგარიშება ჰაერში მგ/ლ-ში წარმოებს ფორმულით

$$x=\frac{a}{V},$$

სადაც V -გატარებული ჰაერის მოცულობაა ლიტრებში.

ჰაერში წყალბადციანმჟავას თვისებითი განსაზღვრისათვის ყველაზე უკეთესია ვისარგებლოთ ბენზიდინის რეაქციით, რომლის დროსაც ორვალენტიანი სპილენძი წყალბადციანმჟავას არსებობისას ჟანგავს უფერულ ბენზიდინს ლურჯი ფერის ნაერთში. ჰაერში წყალბადციანმჟავას რაოდენობითი განსაზღვრისათვის გამოიყენება ლიბიხის ხერხი. ამისათვის *KOH*-ის 1 %-იანი ხსნარის შემცველ სარეაქტივო შუშაში წუთში 100 მლ სიჩქარით 20···30 წუთის განმავლობაში ატარებენ საანალიზო ჰაერის ნაკადს. ცდის დამთავრების შემდეგ *KOH*-ის შემცველ სარეაქტივო შუშების შიგთავს ჩამორეცხავენ კონუსურ კოლბაში, ახორციელებენ ხსნარის შემჟავებას აზოტმჟავით და ტიტრავენ $AgNO_3$-ის 0,1 ნ ხსნარით.

2.2. რაოდენობითი ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკური მეთოდები და საშუალებები

ანალიზის ზემოთ აღწერილი ქიმიური მეთოდები გამოირჩევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით. მაგრამ ეს მეთოდები მეტად შრომატევადია, მოითხოვენ დიდ დროს და, რაც მთავარია, არ ექვემდებარებიან ავტომატიზაციას.

თანამედროვე ტექნოლოგიური და ბიოლოგიური პროცესების კონტროლისა და მართვისას აუცილებელი გახდა ანალიზის დაჩქარებული, ე.წ. „ექსპრესული" მეთოდების დამუშავება. მაღალი სწრაფქმედებით და მგრძნობიარობით ხასიათდება ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკური (ინსტრუმენტული) მეთოდი.

ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები დაფუძნებულია ხსნარების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების (ელექტროგამტარობის, სინათლის შთანთქმის, პოლარიზაციის სიბრტყის შემობრუნების კუთხისა და სხვ.) ნივთიერების კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებაზე. ამ თვისებების გაზომვით ვსაზღვრავთ ნივთიერების რაოდენობას საანალიზო ხსნარში.

თუ გრავიმეტრიული განსაზღვრა მოითხოვს რამდენიმე საათს და დღესაც კი, ნივთიერების ანალიზი თანამედროვე ფიზიკურ-ქიმიური ან ფიზიკური მეთოდებით ხორციელდება ჩვეულებრივ სულ რამდენიმე წუთში. რაც შეეხება მგრძნობიარობას, უნდა აღინიშნოს, რომ ფოტომეტრული ანალიზით შესაძლოა ნივთიერებაში 10^{-5} % რიგის მინარევის განსაზღვრა, ლუმინესცენციური ანალიზით —10^{-7} % , რადიომეტრული (რადიოაქტივაციური) ანალიზით —10^{-9} %.

ქვემოთ დეტალურად განვიხილავთ ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკური, ე.ი. ინსტრუმენტული ანალიზის შედარებით მრავალრიცხოვან ელექტროქიმიურ, ოპტიკურ, რადიომეტრულ და სხვ. მეთოდებსა და საშუალებებს.

2.2.1. ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდები

ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდის ქვეშ იგულისხმება თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზის ისეთი მეთოდების ერთობლიობა, რომლებიც დაფუძნებულია საკვლევ გარემოში ან ფაზათა გამყოფ საზღვარზე მიმდინარე ელექტროქიმიურ მოვლენებზე და დაკავშირებულია საანალიზო ნივთიერების სტრუქტურის, ქიმიური შედგენილობისა ან კონცენტრაციის შეცვლასთან. ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდები იყოფა ხუთ ძირითად ჯგუფად: პოტენციომეტრია, ვოლტამპერომეტრია, კულონომეტრია, კონდუქტომეტრია და დიელექტრომეტრია.

2.2.1.1. პოტენციომეტრია

ერთსახელიანი იონების შემცველ ელექტროლიტში (მაგალითად, თუთია თუთიასულფატის $ZnSO_4$ ხსნარში) ჩაშვებული ლითონის ელექტროდი ყოველთვის შეიძენს გარკვეულ პოტენციალს ხსნარის მიმართ.

თუ კრისტალური გისოსის ენერგია ჰიდრატაციის ენერგიაზე ნაკლებია, მაშინ ელექტროდის ჩაშვებისას ლითონის დადებითად დამუხტული იონები (კატიონები) დაიწყებენ ინტენსიურ გადასვლას ხსნარში. ამ დროს ხსნარის კატიონების ნაწილი სწრაფი მოძრაობისას ეჯახება ლითონის ზედაპირს და ჩერდება მასზე იგივე ძალების მოქმედებით, რომლებიც იკავებენ მათ თვით ლითონში; მაგრამ დროის ერთეულში იხსნება მეტი კატიონი, ვიდრე გამოიყოფა. ამის გამო ხსნარი ელექტროდის გარშემო იმუხტება დადებითად, ხოლო ელექტროდზე რჩება ჭარბი ელექტრონები და იგი იმუხტება უარყოფითად ხსნარის მიმართ. გაჩნდება ელექტროსტატიკური მიზიდულობა ხსნარში გადასულ კატიონებსა და ელექტროდს შორის, რის შედეგადაც კატიონები შეჩერდება ელექტროდის ზედაპირის მიმდებარე ხსნარის შრეში. ლითონისა და ხსნარის საზღვარზე იქმნება ორმაგი ელექტრული შრე: ლითონის უარყოფითი ზედაპირი შეხებაშია ლითონის მახლობლობაში ხსნარის დადებითად დამუხტულ შრესთან. ეს ხელს უწყობს მოძრავი წონასწორობის დამყარებას — არც გახსნა, არც ხსნარის კატიონების გამოყოფა ელექტროდის ზედაპირზე ახლაც არ წყდება, მაგრამ დროის ერთეულში უკვე იხსნება იმდენივე კატიონი, რამდენიც გამოიყოფა.

თუ კრისტალური გისოსის ენერგია ჰიდრატაციის ენერგიაზე მეტია, დასაწყისში ხსნარიდან ელექტროდზე გამოყოფილი კატიონების რაოდენობა აღემატება ლითონიდან ხსნარში გადასულის რაოდენობას. ამის გამო ლითონის ზედაპირი მიიღებს დადებით მუხტს. ლითონის დადებითად დამუხტული ზედაპირი იშორებს ხსნარის კატიონებს და იზიდავს ანიონებს. ამის შედეგად მივიღებთ ორმაგ ელექტრულ შრეს, რომელიც ეწინააღმდეგება კატიონების შემდგომ დალექვას ლითონის ზედაპირზე.

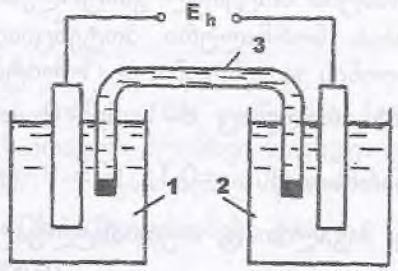
ამრიგად, ხსნარში ჩაშვებული ლითონი პრაქტიკულად დაუყოვნებლივ შეიძენს გარკვეულ პოტენციალს ხსნართან შეფარდებით.

პოტენციალის სიდიდე და ნიშანი დამოკიდებულია ხსნარში კატიონების კონცენტრაციაზე და ლითონის თვისებებზე (თუთიის პოტენციალი გაცილებით უფრო უარყოფითია, ვიდრე ნიკელის და კობალტის პოტენციალი) .

პოტენციალის აღმოჩენა და გაზომვა ელექტროდზე უშუალოდ არ შეიძლება, იგი შეიძლება გაიზომოს მხოლოდ რომელიმე სხვა პოტენციალის მიმართ. ელექტროქიმიაში ათვლის საწყისად მიღებულია ნორმალური წყალბადის ნახევარელემენტი. ნორმალური წყალბადის ნახევარელემენტი (ან, როგორც მას ხშირად უწოდებენ, ნორმალური წყალბადის ელექტროდი) წარმოადგენს მოპლატინებულ პლატინის ელექტროდს (დაფუჭვილი პლატინის — პლატინის სევადის თხელი ფენით დაფარული პლატინა), რომლის ნაწილი ჩაშვებულია ნორმალური კონცენტრაციის მქონე ხსნარში (უფრო სწორედ ხსნარში წყალბადის თავისუფალი იონების ნორმალური აქტიურობით a=1 გ-ეკვ/ლ). ვინაიდან პლატინის სევადი შთანთქავს აირისებრი წყალბადის დიდ რაოდენობას (ახორციელებს მის ადსორბციას), ასეთი ნახევარელემენტი სინამდვილეში წარმოადგენს წყალბადის ელექტროდს, ე.ი. ელექტროდს წყალბადისაგან, რომელიც ჩაშვებულია ხსნარში წყალბადის იონების ერთის ტოლი აქტიურობით.

ასეთი ელექტროდის პოტენციალი, რასაკვირველია, არ უდრის ნულს, მხოლოდ პირობით მიღებულია ნულის ტოლად.

გამოსაცდელი ნახევარელემენტი (ნახ.55), (ლითონი თავისი მარილის ხსნარში, რომელიც შეიცავს 1 გრამ-იონს 1 ლიტრში) 1 შეერთებულია ნორმალური წყალბადის ნახევარელემენტთან 2 ელექტროლიტური გასაღებით 3 (*KCl*-ის ხსნარით გავსებული მილი, რომელიც დახურულია ორი მხრიდან ბამბის ან აზბესტის ნახევრად შეღწევადი საცობებით. ასეთი გალვანური ელემენტის (გალვანური გარდამქმნელის) პოტენციალთა სხვაობებს ელექტროდების „ნორმალურ", „სტანდარტულ" E_h^0 პოტენციალებს უწოდებენ და ზოგიერთი ლითონისათვის მათი მნიშვნელობები მოცემულია მესამე ცხრილში.



ნახ.55. გალვანური გარდამქმნელი

ცხრილი 3

ზოგიერთი ლითონის ნორმალური პოტენციალები

ლითონი	*Li*	*Al*	*Zn*	*Fe*	*Cd*	*Ni*	*(1/2)H₂*	*Cu*	*Ag*	*Pd*	*Pb⁴⁺*
$E^0_{H_2}$	-3,02	-1,67	-0,76	-0,44	-0,40	-0,25	0,00	+0,345	+0,80	+0,83	+1,7

ხსნარების კონცენტრაციის შემცირებისას პოტენციალთა სხვაობა ლითონსა და ხსნარს შორის შესაბამისად იზრდება (იონები უფრო იშვიათად ეჯახებიან ლითონის ზედაპირს და მისი პოტენციალი ხდება უფრო უარყოფითი), ხოლო კონცენტრაციის გაზრდისას—პოტენციალთა სხვაობა მცირდება (იონები უფრო ხშირად ეჯახებიან ლითონის ზედაპირს და მისი პოტენციალი ხდება ნაკლებად უარყოფითი).

ელექტროდის პოტენციალი ერთსახელიანი იონის c . კონცენტრაციის ხსნარში 18 °C-ის დროს გამოისახება წყალბადის მიმართ E_h სიდიდით:

$$E_h = E_h^0 + \frac{0,058}{n} \lg c^{1} \quad . \qquad (8)$$

ნერნსტის მოცემულ განტოლებაში E_h^0 მოცემული ლითონის ნორმალური პოტენციალია წყალბადის მიმართ; n—იონის ვალენტობა; c— 1 ლიტრში გრამ-იონების რაოდენობა. როდესაც c=1, lgc=0 და $E_h = E_h^0$. დეციმოლური ხსნარისათვის c=0,1, lgc=-1 და მაშინ $E_h = E_h^0 - \frac{0,058}{n}$. ასე, მაგალითად, თუთიასულფატის დეციმოლური ხსნარის დროს გვექნება $E_h = -0,76 - \frac{0,058}{2} = -0,789$ ვ.

მუშა და წყალბადის ელექტროდის პოტენციალთა სხვაობის (ემ ძალის) დამოკიდებულება მუშა ელექტროდის მასალის ერთსახელიანი იონების კონცენტრაციაზე ხსნარში წარმატებით გამოიყენება პოტენციომეტრიაში. პოტენციომეტრია აერთიანებს მეთოდებს, რომლებიც დაფუძნებულია შექცევადი ელექტროქიმიური წრედების ემ ძალის გაზომვაზე, როდესაც მუშა ელექტროდის პოტენციალი ახლოსაა წონასწორულ მნიშვნელობასთან. პოტენციომეტრია შეიცავს იონომეტრიას, რედოქსმეტრიას და პოტენციომეტრულ ტიტვრას.

იონომეტრია

იონომეტრია აერთიანებს ელექტროლიტებში იონების კონცენტრაციის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდებს, გალვანური წრედის ემ ძალის გაზომვაზე დაფუძნებით.

განსაკუთრებით ფართო გავრცელება პოვა ხსნარებში წყალბადის H^+ იონების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის (წყალბადის იონების აქტიურობის განსაზღვრისათვის) განკუთვნილმა გალვანურმა გარდამქმნელებმა.

[1] აქ პოტენციალი აღებულია ელექტროდისათვის ხსნარის მიმართ. გასაგებია, რომ ხსნარის პოტენციალს ელექტროდის მიმართ ექნება შებრუნებული ნიშანი.

სუფთა გამოხდილი წყალი, თუმცა მცირედ, მაგრამ დისოცირებულია წყალბადის H^+ იონებად და ჰიდროქსილის OH^- იონებად. მოქმედი მასების კანონის თანახმად და წყლის მცირე დისოციაციის გამო წყლის იონური ნამრავლი

$$K_{H_2O} = a_{H^+} \cdot a_{OH^-},$$

სადაც a_{H^+} [1] და a_{OH^-} შესაბამისად H^+ და OH^- იონების აქტიურობებია. წყლის იონური ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა და 22 ^{0}C-ის დროს ტოლია 10^{-14} . გამოხდილ წყალში ან ნეიტრალურ ხსნარში H^+ და OH^- აქტიურობები ტოლია

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = \sqrt{K_{H_2O}} = 10^{-7} \quad .$$

ეს ნიშნავს, რომ გამოხდილი წყლის 1 ლ შეიცავს H^+-ის 10^{-7} გრამ-იონს და OH^--ის იმდენივე გრამ-იონს.

თუ წყალში გავხსნით მჟავას, მისი მოლეკულების დისოციაციის დროს H^+ იონების კონცენტრაცია გაიზრდება და შესაბამისად, შემცირდება OH^- იონების კონცენტრაცია. ტუტის გახსნა ცვლის H^+ და OH^--ის კონცენტრაციას საპირისპიროდ. რაც უფრო მეტია ტუტის სიჭარბე, მით ნაკლებია წყალბადის იონების კონცენტრაცია. ამრიგად, წყალბადის იონების კონცენტრაციის საშუალებით შეგვიძლია რაოდენობრივად გამოვსახოთ არა მარტო მჟავიანობის ხარისხი, არამედ ტუტიანობის ხარისხიც. დავუშვათ, წყალბადის იონების კონცენტრაცია იცვლება 1-დან 10^{-14} გ-იონი/ლ-მდე (წყალბადის იონების აქტიურობა იცვლება 10^0-დან 10^{-14}-მდე), ე.ი. 100 000 000 000 000-ჯერ. კონცენტრაციის ცვლილების გამოსახვა ესოდენ დიდ დიაპაზონში გაძნელებულია. უფრო მოსახერხებელია გამოვიყენოთ წყალბადის იონების კონცენტრაციის მაჩვენებელი

[1] იონების აქტიურობა a დაკავშირებულია ხსნარის აქტიურობის f კოეფიციენტთან და იონების კონცენტრაციასთან გრამ-ეკვივალენტებში ლიტრზე c: $a = fc$.

(წყალბადის მაჩვენებელი) pH, ე.ი. კონცენტრაციის ათობითი ლოგარითმი, აღებული შებრუნებული ნიშნით:

$$pH=-\lg a_{H^+} \quad . \qquad (9)$$

ამ შემთხვევაში წყალბადის იონების კონცენტრაციების მნიშვნელობები მოყვანილ მაგალითში გამოისახება რიცხვებით 0-დან (კონცენტრაციისათვის 1) 13-მდე (კონცენტრაციისათვის 10^{-14}). წყალბადის მაჩვენებლით გამოსახული კონცენტრაციების ცვლილების გამოსახვა რიცხვებით 0-დან 14-მდე აღარ წარმოადგენს სიძნელეს. კონცენტრაციების გამოსახვის ასეთი მეთოდი მოსახერხებელია კიდევ იმიტომაც, რომ სხვაობა ორ რიცხვს შორის უშუალოდ გვიჩვენებს კონცენტრაციების ფარდობით ცვლილებას. pH-ის შეცვლა 1-ით შეესაბამება წყალბადის იონების კონცენტრაციის შეცვლას ათჯერ.

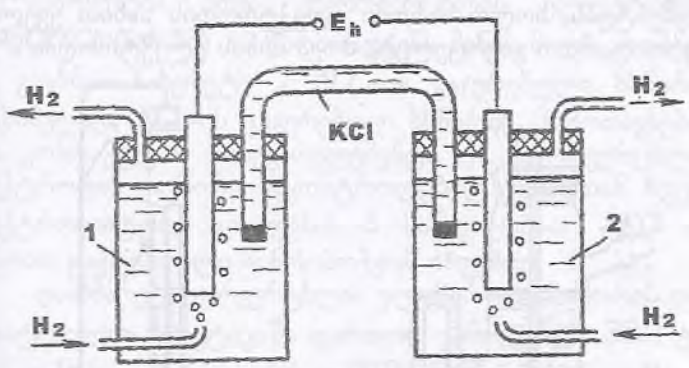
თუ ხსნარი ნეიტრალურია, მაშინ H^+ და OH^- იონების კონცენტრაციები ერთნაირია და ტოლია 10^{-7} გ-იონი/ლ, მაშასადამე pH=7.

მჟავა ხსნარებში H^+ იონების კონცენტრაცია მეტია 10^{-7} გ-იონი/ლ-ზე (მაგალითად, 10^{-3}) და pH ნაკლებია 7-ზე (კონცენტრირებული მარილმჟავას შემხვევაში ხსნარის კონცენტრაციაა 1 მოლი/ლ, H^+ იონების შემცველობა — 1გ/ლ, pH=0).

ტუტე ხსნარებში pH მეტია 7-ზე, ვინაიდან H^+ იონების კონცენტრაცია ნაკლებია 10^{-7} გ-იონი/ლ-ზე (კონცენტრირებული ტუტისათვის H^+ იონების შემცველობაა 10^{-14} გ/ლ, pH=14). ამრიგად, ნებისმიერი ნივთიერების წყალხსნარის pH-ის ცვლილების დიაპაზონი 0-დან 14 ერთეულამდეა.

pH-ის გაზომვის ყველაზე უფრო ზუსტ და უნივერსალურ მეთოდს წარმოადგენს ელექტრომეტრული მეთოდი. იგი დაფუძნებულია pH-ის სიდიდის განსაზღვრაზე

პოტენციალთა სხვაობის მიხედვით წყალბადის იონების ცნობილ ნორმალური კონცენტრაციის 1 ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდსა და საცდელ 2 ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდს შორის. მაშასადამე გალვანურ გარდამქმნელებს, რომლებიც წარმოადგენენ პირველად საზომ გარდამქმნელებს, ბუნებრივი შესავალი სიდიდის სახით აქვთ წყალბადის იონების კონცენტრაციის მნიშვნელობა (გაზომული pH-ის ერთეულებში), ხოლო გამოსავალი სიდიდის სახით — გალვანური ძაბვა, რომელიც ელექტროდული პოტენციალების სხვაობის ტოლია (ნახ.56).



ნახ.56. გალვანური გარდამქმნელი ორი წყალბადის ნახევარელემენტით: 1- ნახევარელემენტი, შევსებული ნორმალური კონცენტრაციის ხსნარით; 2- ნახევარელემენტი ხსნარით, რომლის pH უნდა გაიზომოს (წყალბადი მიეწოდება უწყვეტად პლატინის ელექტროდების წყალბადით გაჯერებისათვის)

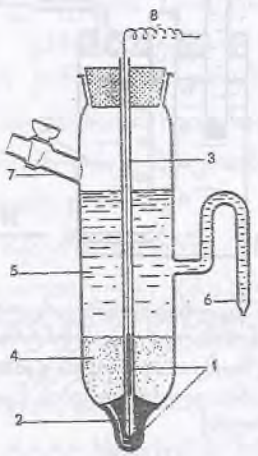
ნერნსტის განტოლება $E_h = E_h^0 + \frac{0,058}{n}\lg c$, წყალბადის ორი ნახევარელემენტის შემცველი გალვანური გარდამქმნელის შემთხვევაში (ნახ.56), იმის გათვალისწინებით, რომ წყალბადისათვის $E_h^0 = 0,00$, $n=1$ და $c=a_{H^+}$, მიიღებს 18 °C ტემპერატურისათვის შემდეგ სახეს

$$E_h=0,058 \lg a_{H^+} = -0,058\ pH \quad , \qquad (10)$$

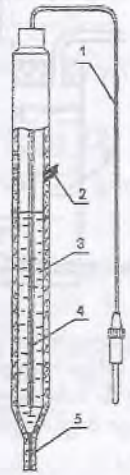
სადაც E_h იზომება ვოლტებში.

გალვანური გარდამქმნელის ემ ძალა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. t=20 °C -გან განსხვავებული ტემპერატურის დროს (10) გამოსახულებაში 0,058-ის მაგივრად უნდა ავიღოთ δ=0,058+0,2(t - 20).

წყალბადის ელექტროდი საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ pH 0-დან 14-მდე ფარგლებში მაღალი სიზუსტით, მაგრამ გარდამქმნელში უწყვეტად უნდა გავატაროთ აირისებრი წყალბადი. ნორმალური წყალბადის ნახევარელემენტის ნაცვლად იყენებენ კალომელის (ნახ.57), ქლორვერცხლის (ნახ.58), ბრომვერცხლისა და სხვა ნახევარელემენტებს, ხოლო საზომი ელექტროდის სახით ყველაზე უფრო ფართო გავრცელება პოვა მინის ელექტროდმა.



ნახ.57. კალომელის ელექტროდი



ნახ.58. ქლორვერცხლის ელექტროდი

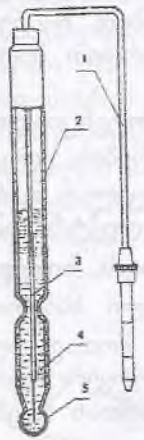
კალომელის ელექტროდში ფსკერზე იმყოფება ვერცხლისწყლის შრე 1, მის ზევით კალომელის შრე 4, ხოლო შემდეგ *KCl* -ის ნორმალური ხსნარი 5. ვერცხლისწყალი დაკავშირებულია პლატინის მავთულთან 2, რომელიც ჩარჩილულია მინის მილში 3; ეს მილი გავსებულია ვერცხლისწყლით 1 და ჩაშვებულია ელექტროდის ფსკერზე მყოფ ვერცხლისწყალში. კალომელის ელექტროდის გვერდით მილს აგრეთვე ავსებენ *KCl* -ის ხსნარით აგარ-აგარის 3 %-ის დამატებით. გვერდითი მილის 6 ბოლოში და ამ მილის ჭურჭელთან შეერთების ადგილებში ჩასმულია ბამბის ან აზბესტის ნახევრად შეღწევადი საცობები. გაცივებისას *KCl* -ის ხსნარი გვერდით მილში ლაბად იქცევა. კალომელის ელექტროდის გამოყენებისას გვერდით მილს ჩაუშვებენ საკვლევ ხსნარში.

უკანასკნელ პერიოდში საყრდენი პოტენციალის შესაქმნელად დამხმარე ელექტროდის (შედარების ელექტროდის) სახით კალომელის ელექტროდის ნაცვლად ფართო გამოყენება პოვა ქლორვერცხლის ელექტროდმა (*Ag/AgCl/KCl*) (ნახ.58). ის წარმოადგენს მინის მილს, რომელსაც გააჩნია ნახვრეტი 2 *KCl* -ის გაჯერებული ხსნარის ჩასასხმელად. *KCl* -ის გაჯერებულ ხსნარში 3 მოთავსებულია კონტაქტური ნახევარელემენტი 4. ქლორვერცხლის ელექტროდის კავშირი საკონტროლებელ ხსნართან ხდება ელექტროლიტური გასაღების 5 საშუალებით (*KCl* -ის ხსნარით გაჟღენთილი მინის ბოჭკოს ძაფები).

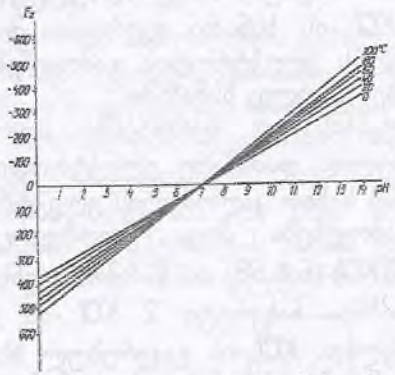
დამხმარე ქლორვერცხლის ელექტროდებს შორის ლაბორატორიულ პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება **ЭВЛ** ტიპის ელექტროდები და კერძოდ **ЭВЛ –1М3** ელექტროდები.

მინის pH -ელექტროდი (ნახ.59) წარმოადგენს მინის მილს 2 მის ბოლოში სპეციალური ელექტროდული მინისაგან დამზადებული თხელკედლიანი ბურთულათი 5 (ეს მინა უნდა შეიცავდეს ლითიუმის დიდ რაოდენობას). მილში და ბურთულაში მოთავსებულია ეტალონური ხსნარი 4. იგი უნდა შეიცავდეს იონებს, რომლებზეც რეაგირებს თვით ელექტროდი (ჩვენს შემთხვევაში წყალბადიონებს) და იონებს, რომლებზეც რეაგირებს შედარების ელექტროდი (ჩვეულებრივ ქლორის იონებს). ეტალონური ხსნარის სახით იყენებენ *HCl*-ის ნორმალურ ან დეცინორმალურ (ე.ი. წყალბად-იონების ცნობილი კონცენტრაციის) ხსნარს. მინის ელექტროდი ჩაშვებულია საკვლევ სითხეში. ხდება ბურთულას მინის ზედაპირული შრიდან ნატრიუმის

ან ლითიუმის ერთვალენტიანი იონების გადასვლა როგორც საკვლევ, ისე საკონტროლო ხსნარებში, ხოლო მათი ადგილების ჩანაცვლება წყალბად-იონებით—ხსნარიდან. ამის შედეგად ბურთულას მინის ზედაპირული შრე ორივე



ნახ.59. მინის ელექტროდი



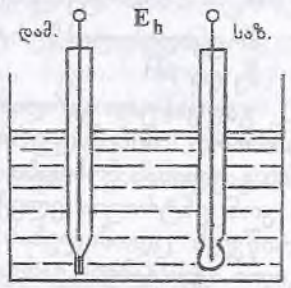
ნახ.60. ელექტროდული სისტემის ემ ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი ხსნარის pH -ზე და ტემპერატურაზე (იზოპოტენციალური წერტილის კოორდინატებია E_o =0 მვ, pH_o =7 pH)

მხრიდან გაჯერებული აღმოჩნდება წყალბად-იონებით და მინის ელექტროდი შეიძენს წყალბადის ელექტროდის თვისებებს. წყალბადის ელექტროდის მსგავსად უნდა განვიხილოთ მინის ელექტროდის როგორც შიგა, ისე გარე ზედაპირები. მათგან ერთს—შიგას პრაქტიკული გაზომვისას აქვს მუდმივი პოტენციალი, რომლის მოხსნაც წარმოებს მინის ელექტროდში მოთავსებული ქლორვერცხლის მიკროელექტროდით 3. გარე პოტენციალი მოიხსნება დამხმარე ელექტროდით.

საანალიზო ხსნარში ჩაშვებული ქლორვერცხლის დამხმარე და მინის საზომი ელექტროდები ქმნიან გალვანურ გარდამქმნელს. სქემატურად გალვანური გარდამქმნელი ნაჩვენებია 61-ე ნახაზზე. H^+იონზე მორეაგირე მინის ელექტროდის შემცველი გალვანური გარდამქმნელი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

შედარების ელექტროდი	საანალიზო ხსნარი	მინის მემბრანა (ბურთულა)	შიგა ხსნარი a'_{H^+}, a'_{Cl^-}	AgCl	Ag

აღწერილი გალვანური გარდამქმნელის გამოსასვლელებზე ემ ძალა წარმოადგენს ქლორვერცხლის მიკროელექტროდის ემ ძალის, მინის ელექტროდის შიგა და გარე ზედაპირების ემ ძალებისა და დამხმარე ელექტროდის ემ ძალის ალგებრულ ჯამს. საკვლევი ხსნარის pH-ის შეცვლისას იცვლება მინის ელექტროდის მხოლოდ გარე ზედაპირის პოტენციალი, რომელიც დამოკიდებულია ხსნარში წყალბად-იონების აქტიურობაზე. ემ ძალის სხვა დანარჩენი შემდგენები სხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში უცვლელია. ამიტომ თუ გავზომავთ ემ ძალას გარდამქმნელის გამომყვანებზე, შევძლებთ საკვლევი ხსნარის pH-ის განსაზღვრას. დამოკიდებულება გამოისახება ისევე, როგორც წყალბადის ელექტროდისათვის, განტოლებით $E = E_0 + 0{,}058pH$, სადაც E_0 დამოკიდებულია ბურთულას შიგნით მოთავსებული ხსნარის შედგენილობაზე, მასში ჩაშვებული ელექტროდის ბუნებაზე და სხვ. E_0 ჩვეულებრივ განისაზღვრება pH-ის ზუსტად ცნობილი მნიშვნელობის მქონე ბუფერულ ხსნარში მოცემული მინის ელექტროდის პოტენციალის გაზომვით.



ნახ.61. გალვანური გარდამქმნელი

pH-ელექტროდის სახით ლაბორატორიულ პრაქტიკაში გამოიყენება მინის ელექტროდები **ЭСЛ-43-07** (0-დან 40 °C-მდე ტემპერატურების ინტერვალში მუშაობისათვის) და **ЭСЛ-63-07** (25-დან 100 °C-მდე ტემპერატურების ინტერვალში მუშაობისათვის).

მინის ელექტროდის შემცველი ელექტროდული სისტემის ემ ძალის დამოკიდებულება pH-ზე და ხსნარის ტემპერატურაზე გამოისახება განტოლებით:

$$E = E_o - (54{,}196 + 0{,}198t)(pH - pH_o), \qquad (11)$$

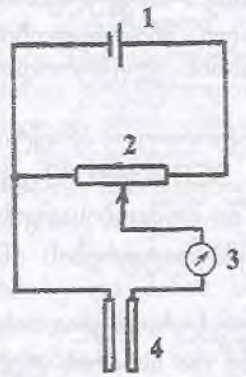
სადაც E ემ ძალაა, მვ;

54,196 — ელექტროდული სისტემის მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი 0 °C-ის დროს, მვ/pH;

t — საკონტროლებელი ხსნარის ტემპერატურა, ^{o}C;
pH — საკონტროლებელი ხსნარის pH-ის მნიშვნელობა, pH;
E_{o} , pH_{o} — იზოპოტენციალური (ტემპერატურულად დამოუკიდებელი) წერტილის კოორდინატები (ნახ.60), მვ და pH.

გალვანური გარდამქმნელის ემ ძალის გაზომვა უნდა ვაწარმოოთ მინიმალური დენის პირობებში, ვინაიდან დენის გავლისას მოხდება ელექტროლიზი, შეიცვლება ხსნარის კონცენტრაცია ელექტროდების მახლობლობაში, რაც გამოიწვევს ცდომილებას. გარდა ამისა, დენის გავლისას ადგილი აქვს ძაბვის ვარდნას გარდამქმნელის საკმაოდ დიდ შინაგან წინაღობაზე, რასაც აგრეთვე შეაქვს ცდომილება ემ ძალის გაზომვაში.

გალვანური გარდამქმნელის ემ ძალის გასაზომად შეგვიძლია გამოვიყენოთ კომპენსაციური სქემა, რომელშიც ხდება გასაზომი ემ ძალის გაწონასწორება მუდმივი დენის წყაროს ცნობილი ემ ძალით. კომპენსაციური სქემის გამოყენებაზე დაფუძნებულ ხელსაწყოებს პოტენციომეტრები ეწოდება (ვინაიდან ისინი გამოიყენება პოტენციალთა სხვაობის გასაზომად).



ნახ.62

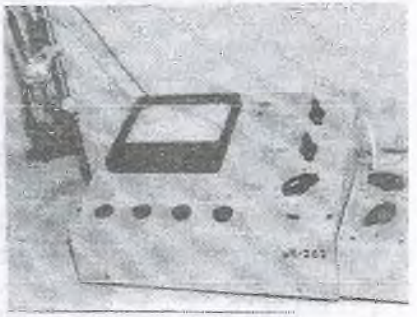
გაზომვის კომპენსაციური სქემის პრინციპი გამარტივებულად მოცემულია 62-ე ნახაზზე. ელექტროდულ წყვილში 4 აღძრული ემ ძალის შემხვედრად რთავენ მუდმივი დენის წყაროს 1 ემ ძალას რეოქორდის 2 გამოყენებით. მცოცავი კონტაქტით ზომავენ რეოქორდიდან მოხსნილ პოტენციალთა სხვაობას სრულ კომპენსაციამდე. სრული კომპენსაციის შემთხვევაში ე.ი. ელექტროდების ემ ძალის და მუდმივი დენის წყაროს ემ ძალის ტოლობის შემთხვევაში გალვანომეტრი 3 წრედში ელექტრულ დენს არ დააფიქსირებს. ამ მომენტში რეოქორდის მცოცის მდგომარეობის მიხედვით განისაზღვრება ელექტროდული პოტენციალის (ელექტროდული წყვილის

ემ ძალის) სიდიდე. პრაქტიკაში გამოიყენება პოტენციომეტრები როგორც ხელით, ისე ავტომატური გაწონასწორებით.

pH-ის გაზომვისათვის განკუთვნილი თანამედროვე ხელსაწყოების pH-მეტრების წრედი წარმოადგენს ჩვეულებრივ ელექტრონულ ვოლტმეტრს ძალიან დიდი შესავალი წინაღობით. ვინაიდან გალვანური გარდამქმნელის ემ ძალა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ცდომილების შესამცირებლად ავტომატურ pH-მეტრებს გააჩნიათ თერმომაკორექტირებელი წრედები.

სერიული pH მეტრები და მათი გამოყენება

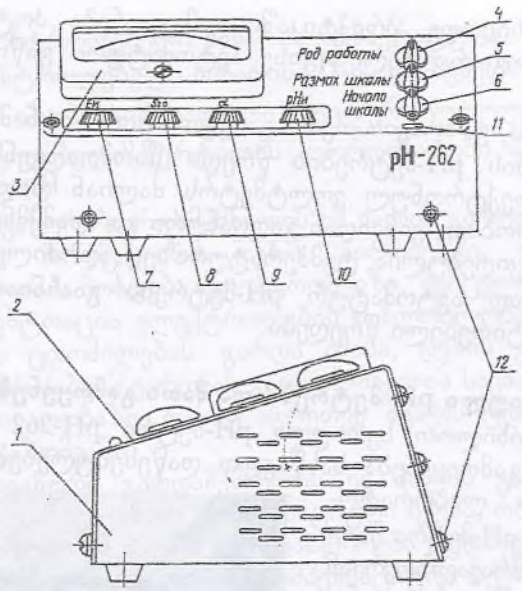
განვიხილოთ სერიული pH-მეტრი pH-262 (ნახ.63), რომელიც გამოიყენება სასწავლო დაწესებულებების სტაციონარულ ლაბორატორიებში. ეს pH-მეტრი წარმოადგენს მრავალზღვრიან ხელსაწყოს წყალბად-იონების აქტიურობის გასაზომად. pH-ის გაზომვის ზღვრებია 0÷14 pH. ხელსაწყოს გააჩნია pH-ის გაზომვის შემდეგი დიაპაზონები: 0—1; 1—2; 2—3; 3—4; 4—5; 5—6; 6—7; 7—8; 8—9; 9—10; 10—11; 0—10; 1—11; 2—12; 3—13; 4—14.


ნახ.63. pH-მეტრი pH-262

სკალის დანაყოფის ფასი pH-ის 1 ერთეულის შესაბამის დიაპაზონზე შეადგენს 0,01 pH, ხოლო pH-ის 10 ერთეულის შესაბამის დიაპაზონზე — 0,1 pH.

pH-262 pH-მეტრის მართვის ორგანოები და მაჩვენებელი ხელსაწყო განლაგებულია კორპუსის წინა პანელზე (ნახ.64).

ელექტროდული სისტემის ემ ძალის გასაზომად გამოიყენება კომპენსაციური სქემა.



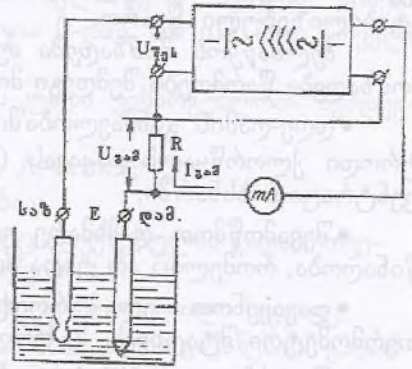
ნახ.64. pH-262 ხელსაწყოს საერთო ხედი:
1-ძირი; 2- სახურავი; 3- მაჩვენებელი ხელსაწყო; 4- მუშაობის სახეობის გადამრთველი; 5- სკალის გაქანების გადამრთველი; 6- pH -ის სკალის დასაწყისის გადამრთველი; 7- $E_н$ აწყობის სახელურო; 8- S_{20} აწყობის სახელურო; 9- α აწყობის სახელურო; 10- $pH_н$ აწყობის სახელურო;11- სასიგნალო ნათურის შუქფილტრები; 12- ხრახნები

ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპის ამხსნელი გამარტივებული სქემა მოცემულია 65-ე ნახაზზე. აქ ელექტროდული სისტემის E ემ ძალის შედარება ხდება ძაბვის ვარდნასთან R წინაღობაზე მასში მაძლიერებლის საბოლოო კასკადის $I_{გამ}$ დენის გავლის გამო. $U_{გამ}$ ძაბვის ვარდნა R წინაღობაზე E ემ ძალის საწინააღმდეგო ნიშნისაა, რის გამოც მაძლიერებლის შესასვლელს მიეწოდება ძაბვა:

$$U_{შეს} = E - U_{გამ} = E - I_{გამ} \cdot R \quad .$$

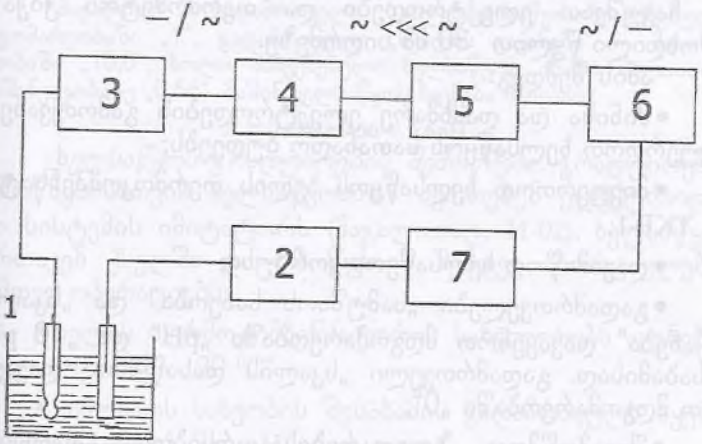
ძაბვა $U_{შეს}$ ხელსაწყოში გარდაიქმნება ცვლად ძაბვაში, მრავალგზის ძლიერდება და დეტექტორით გარდაიქმნება მუდმივ დენში. მაძლიერებლის საკმაოდ დიდი გაძლიერების კოეფიციენტის დროს $U_{გამ}$ თითქმის არ განსხვავდება E-საგან, რის გამოც ემ ძალის გაზომვის პროცესში ელექტროდებში გამავალი დენი საკმაოდ მცირეა (10^{-12} ამპერზე ნაკლები).

R წინაღობაში გამავალი $I_{გამ}$ დენი პროპორციულია ელექტროდული სისტემის ემ ძალისა და , მაშასადამე, საკონტროლებელი ხსნარის pH სიდიდისაც.



ნახ.65. ხელსაწყოს გამარტივებული სქემა

pH-262-ის ბლოკ-სქემა მოცემულია 66-ე ნახაზზე, სადაც 1-წყალბად-იონების აქტიურობის პროპორციული ემ ძალის შემქმნელი ელექტროდული სისტემაა; 2- საზომი სქემა; 3- მუდმივი ძაბვის ცვლადში გარდაქმნის უზრუნველმყოფი ვიბროგარდამქმნე-



ნახ. 66. pH-262-ის ბლოკ-სქემა

ლის კვანძი; 4-ცვლადი ძაბვის მაძლიერებელი; 5- ფაზური დეტექტორი, რომელიც ახორციელებს ცვლადი ძაბვის მუდმივ დენში შექცეულ გარდაქმნას; 6- მაძლიერებლის კვების ძაბვა; 7- ხელსაწყოს საზომი სქემის კვების სტაბილიზებული წყარო.

ხელსაწყოს მომზადება მუშაობისათვის. ხელსაწყოს მომზადება წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით:

- დღე-ღამის განმავლობაში დავალბოთ მინის ელექტროდი ქლორწყალბადმჟავას (HCl) 0,1 მოლი /ლ კონცენტრაციის ხსნარში;
- შევამოწმოთ დამხმარე ელექტროდის ელექტრული წინაღობა, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 20 კო-ს;
- დავაყენოთ ელექტროდები და ვერცხლისწყლის თერმომეტრი შტატივის საჭერის ბუდეებში;
- შევარჩიოთ ტემპერატურული კომპენსაციის სახეობა. ავტომატური თერმოკომპენსაციის დროს შტატივის საჭერის ბუდეში ათავსებენ ავტომატურ თერმოკომპენსატორს;
- დავარეგულიროთ შტატივის მაგიდის მდგომარეობა და ჩავუშვათ ელექტროდები და თერმომეტრი ჭიქაში გამოხდილი წყლით 30 მმ სიღრმეზე.

ამის შემდეგ:

- მინისა და დამხმარე ელექტროდების გამომყვანები მივუერთოთ ხელსაწყოს სათანადო ბუდეებს;
- მივუერთოთ ხელსაწყოს ხელის თერმოკომპენსატორი ТКР-1;
- დავამიწოთ ხელსაწყოს კორპუსი;
- გადამრთველები „სამუშაოს სახეობა“ და „სკალის გაქანება“ დავაყენოთ მდგომარეობაში „pH“ და „10 pH“ შესაბამისად. გადამრთველი „სკალის დასაწყისი“ დავაყენოთ მდგომარეობაში „0“;
- შევამოწმოთ ზღუდარების არსებობა კლემებზე „0÷5 mA“ და „ППТВ“;

- ჩავრთოთ ხელსაწყო ქსელში (ხელსაწყოზე აინთება ნათურა).

ჩვენებათა ათვლა. ჩვენებათა ათვლა pH -ის გაზომვისას ხდება მაჩვენებელი ხელსაწყოს სკალის მიხედვით, რომელიც დაციფრულია 0-დან 1,0 pH -მდე ყოველი 0,1 pH -ის შემდეგ.

ჩვენებათა ათვლისას უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი წესით:

$$A=X+kY,$$

სადაც A ხელსაწყოს ჩვენებაა;

X - ციფრი, რომელზეც დაყენებულია გადამრთველი „სკალის დასაწყისი“;

Y - pH -ის სკალის მიხედვით ათვლილი სიდიდე;

k - მამრავლი „1“ ან „10“ „სკალის გაქანების“ გადამრთველის მდგომარეობის მიხედვით.

მაგალითი1: გადამრთველი „სკალის დასაწყისი“დაყენებულია მდგომარეობაში „2“, გადამრთველი „სკალის გაქანება“ — მდგომარეობაში „1,0“, ხოლო მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარი გვიჩვენებს „0,48“. მაშინ ხელსაწყოს ჩვენება იქნება:

$$A = 2+1 \cdot 0,48 = 2,48\text{pH}\ .$$

მაგალითი 2: გადამრთველი „სკალის დასაწყისი“დაყენებულია მდგომარეობაში „1“, გადამრთველი „სკალის გაქანება“ — მდგომარეობაში „10,0“, ხოლო მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარი მიუთითებს მნიშვნელობაზე „0,56“. მაშინ ხელსაწყოს ჩვენება იქნება:

$$A = 2+10 \cdot 0,56 = 6,6\text{pH}\ .$$

ხელსაწყოს გრადუირების შემოწმება. გრადუირების შემოწმებისათვის ხელსაწყოსთან აერთებენ ელექტროდული სისტემის იმიტატორს (მაგალითად, И-02), ხელსაწყოს ჩართავენ ქსელში და 60 წუთის შემდეგ ახორციელებენ შემდეგ ოპერაციებს:

- ხელის თერმოკომპენსატორის სახელურებს აყენებენ მდგომარეობაში „20 °C“;
- სამუშაოს სახეობის შესაბამის გადამრთველს აყენებენ მდგომარეობაში „pH“;
- სკალის გაქანების გადამრთველს აყენებენ მდგომარეობაში „1pH, ±12,5 mV“;

• სკალის დასაწყისის გადამრთველს აყენებენ მდგომარეობაში „7“; იმიტატორიდან ხელსაწყოს აწვდიან 7pH-ის შესაბამის ემ ძალას — 0 მილივოლტს. მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარს აყენებენ სკალის საწყის ნიშნულზე სახელურით „$E_{\text{ი}}$“;

• სკალის დასაწყისის გადამრთველს აყენებენ მდგომარეობაში „1“. იმიტატორიდან ხელსაწყოს აწვდიან 1pH -ის შესაბამის ემ ძალას — 349,0 მვ. მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარს აყენებენ სკალის საწყის ნიშნულზე სახელურით „ S_{20} “.

ხელსაწყოს აწყობა ბუფერული ხსნარების გამოყენებით. ელექტროდული სისტემის იმიტატორით ხელსაწყოს გრადუირების შემოწმების შემდეგ იწყებენ აწყობას ბუფერული ხსნარის მიხედვით. ეს აუცილებელია ხელსაწყოს დაკალიბრებისათვის ელექტროდული წყვილის ფიზიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით. ხელსაწყოს აწყობის მიმდევრობა ასეთია:

• ხელის თერმოკომპენსატორის გადამრთველები დავაყენოთ მდგომარეობაში, რომელიც შეესაბამება ბუფერული ხსნარების ტემპერატურას (მაგალითად, 20^{0}C);

• სამუშაოს სახეობის გადამრთველი დავაყენოთ მდგომარეობაში „ pH“;

• სკალის გაქანების გადამრთველი დავაყენოთ მდგომარეობაში „1pH“;

• სკალის დასაწყისის გადამრთველი დავაყენოთ მდგომარეობაში „9“;

• ელექტროდები მოვათავსოთ ბუფერულ ხსნარში, რომლის pH=9,22 20 ^{0}C -ის დროს; სახელურით „$E_{\text{ი}}$“ დავაყენოთ ხელსაწყოს ჩვენება ბუფერული ხსნარის pH -ის მნიშვნელობაზე (ტემპერატურის შესაბამისად);

• ელექტროდები გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით და მოვაცილოთ მისი ნარჩენები საფილტრავი ქაღალდით;

• მოვათავსოთ ელექტროდები ბუფერულ ხსნარში, რომლის pH=1,68 20 ^{0}C -ის დროს; დავაყენოთ სკალის

დასაწყისის შესაბამისი გადამრთველი მდგომარეობაში „1“; სახელურით „ S_{20}“ დავაყენოთ ხელსაწყოს ჩვენება მეორე ბუფერული ხსნარის pH -ის მნიშვნელობაზე (ტემპერატურის შესაბამისად) ;

• გავიმეოროთ აღწერილი ოპერაციები ამ ბუფერული ხსნარებით, სანამ ხელსაწყოს ჩვენება ორივე შემთხვევაში ±0,01pH -ის სიზუსტით მიუახლოვდება ბუფერული ხსნარების pH -ის მნიშვნელობებს.

საანალიზო გარემოს pH -ის გაზომვა. საკონტროლებელ ხსნარებში ელექტროდების ყოველი ჩაძირვის წინ ელექტროდები უნდა გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით და საფილტრავი ქაღალდით მოვაცილოთ მათი ზედაპირიდან წყლის ნარჩენები.

ყოველი გაზომვისას თვალყური უნდა ვადევნოთ ხსნარის ტემპერატურას და ხელის თერმოკომპენსატორის გადამრთველები დავაყენოთ ამ ტემპერატურის შესაბამის მნიშვნელობაზე.

pH -ის სიდიდის ათვლა ხდება მხოლოდ მას შემდეგ, როდესაც ჩვენებები მიიღებენ დამყარებულ მნიშვნელობას. ჩვენებათა დამყარების დრო, როგორც წესი, არ აღემატება სამ წუთს.

ხელსაწყოს ექსპლუატაციისას არ უნდა დავუშვათ pH-ელექტროდის გაშრობა, ამ შემთხვევაში კვლავ აუცილებელი იქნება მისი დალბობა სამუშაოს ჩატარებამდე.

დამხმარე ელექტროდში პერიოდულად უნდა დავამატოთ KCl-ის 20 ^{0}C-ის პირობებში გაჯერებული ხსნარი.

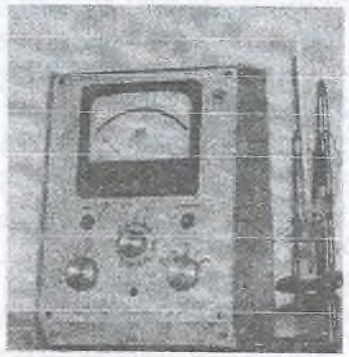
სამუშაოს დამთავრების შემდეგ ელექტროდები უნდა მოვათავსოთ ჭიქაში გამოხდილი წყლით.

67-ე ნახაზზე მოცემულია pH-673 ლაბორატორიული pH-მეტრი-მილივოლტმეტრის გარე ხედი. იგი წარმოადგენს მრავალზღვრიან ხელსაწყოს.

pH-ის გაზომვის ზღვრებია მინუს 1-დან 14 pH-მდე დიაპაზონებით: -1÷14; -1÷ 4; 4 ÷9 და 9 ÷14 pH.

პირველ დიაპაზონზე გაზომვის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილება შეადგენს ±0,4 pH , ხოლო სამ დანარჩენ

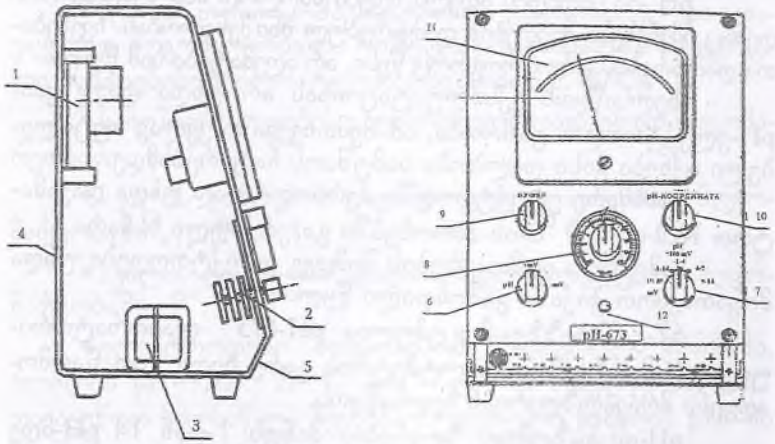
დიაპაზონზე ±0,05 pH . ხელსაწყოს კვება ხდება ქსელის ძაბვით (220 ვ, 50 ჰც).



ნახ.67

pH -მეტრი pH-673 წარმოადგენს სამაგიდო ხელსაწყოს და შედგება გარდამქმნელისა და მტატივისაგან (ნახ.67).

გარდამქმნელი (ნახ.68,ა,ბ) კონსტრუქციულად შესრულებულია ცალკე ბლოკის სახით, რომელშიც განლაგებულია ელექტრული სქემის ელემენტები. ხელსაწყოს წინა პანელზე (ნახ.68,ბ) განლაგებულია მართვის ელემენტები, მაჩვენებელი ხელსაწყო და სასიგნალო ნათურა. დეკორატიული მოსახსნელი თამასა ფარავს ხელსაწყოს საქარხნო აწყობის პოტენციომეტრებს.



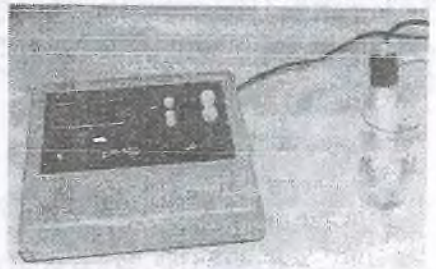
ნახ.68. გარდამქმნელი: ა-გვერდის ხედი ბ-წინა ხედი

ხელსაწყოს უკანა პანელზე განლაგებულია ბუდეები ელექტროდების, ავტომატური თერმოკომპენსატორის, მარეგულირებელი ხელსაწყოების მისაერთებლად.

68-ე ნახაზზე 1 მაძლიერებელი ბლოკია; 2 -საზომი ბლოკი; 3- ძალური ტრანსფორმატორი; 4- კორპუსი; 5- მოსახსნელი თამასა; 6-მუშაობის სახეობის გადამრთველის სახელური; 7- გაზომვის დიაპაზონის გადართვის სახელური; 8-ტემპერატურული კომპენსაციის პოტენციომეტრის სახელური; 9 - ბუფერის მიხედვით აწყობის პოტენციომეტრი; 10- pH კოორდინატის მიხედვით აწყობის პოტენციომეტრი; 11- მიკროამპერმეტრი; 12 -სასიგნალო ნათურა.

მტატივი განკუთვნილია ელექტროდების დასამაგრებლად და საკონტროლებელი ხსნარით გავსებული ჭიქის მოსათავსებლად.

69-ე ნახაზზე მოცემულია pH-100 ლაბორატორიული pH- მეტრი-მილივოლტმეტრის გარე ხედი. ეს ხელსაწყო განკუთვნილია როგორც წყალბად-იონების აქტიურობის გასაზომად (pH), ისე ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალის გასაზომად. იგი ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში, მედიცინაში, სამეცნიერო-კვლევით და სასწავლო ინსტიტუტებში.



ნახ.69

ამ ხელსაწყოს გაზომვის დიაპაზონებია: ა) pH –ის გაზომვის რეჟიმში 0-დან 15 pH -მდე, ბ) ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში მინუს 1999-დან 1999 მვ-მდე; უმცროსი თანრიგის ერთეულის ფასია (დისკრეტულობა): ა) pH –ის გაზომვის რეჟიმში —0,01 pH, ბ) ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში —1 მვ; ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების დასაშვებ მნიშვნელობათა ზღვრებია: ა) pH –ის გაზომვის რეჟიმში ±0,05 pH, ბ) ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში ±5 მვ.

გარდამქმნელი უზრუნველყოფს მუშაობას ელექტროდულ სისტემასთან, რომლის ემ ძალის დამოკიდებულებას pH -ზე აქვს სახე:

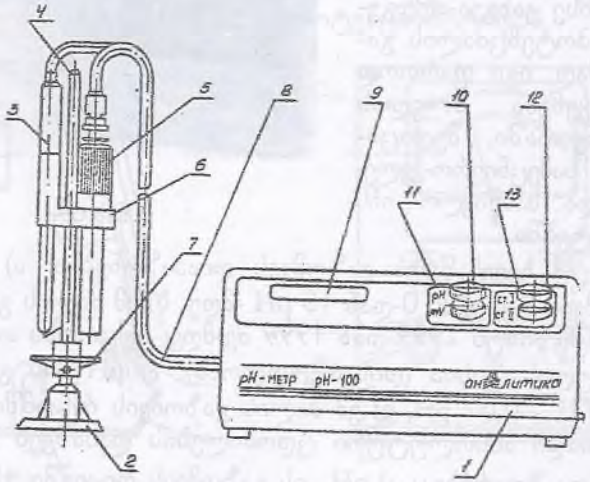
$$E=E_0+S_t(pH-pH_0),$$

სადაც E_0 და pH_0 ელექტროდული სისტემის იზოპოტენციალური წერტილის კოორდინატებია (E_0=0 მვ და pH_0 =7,00pH);

S_t - ელექტროდული სისტემის მახასიათებლის დახრილობა ხსნარის მუშა ტემპერატურის დროს. დახრილობის რიცხვითი მნიშვნელობა 25 ^{0}C-ის დროს ტოლია: S_{25}=58±2 მვ/pH.

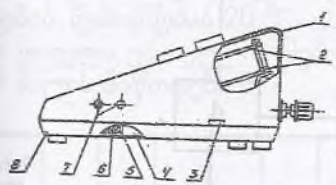
ხელსაწყოს კვება შესაძლებელია როგორც ცვლადი ძაბვის (220ვ) ქსელიდან, ისე ±6 -დან ±9 ვ-მდე ძაბვის მჭონე კვების ავტონომიური წყაროდან.

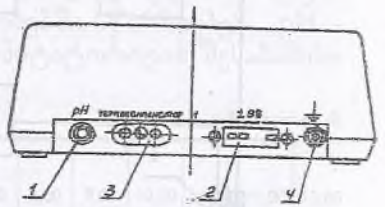
კონსტრუქციულად pH-100 ხელსაწყო შედგება საზომი გარდამქმნელისაგან, შტატივისაგან, თერმოკომპენსატორისაგან და კომბინირებული pH-ელექტროდისაგან (ნახ.70).



ნახ.70. ლაბორატორიული pH-მეტრი pH-100:
1-გარდამქმნელი; 2-შტატივი; 3-თერმოკომპენსატორი; 4-სადგამი; 5-ელექტროდი ЭСКЛ-09; 6-საჭერი; 7-მოსაბრუნებელი მაგიდა; 8-კაბელი; 9-თხევადკრისტალური ინდიკატორი; 10,11 - მუშაობის რეჟიმის გადართვის ღილაკები: „pH“ან „mV“; 12,13 - აწყობის სახელურები СТ.I და СТ.II

71-ე ნახაზზე მოცემულია ხელსაწყოს გვერდის ხედი, ხოლო 72-ე ნახაზზე უკანა ხედი.





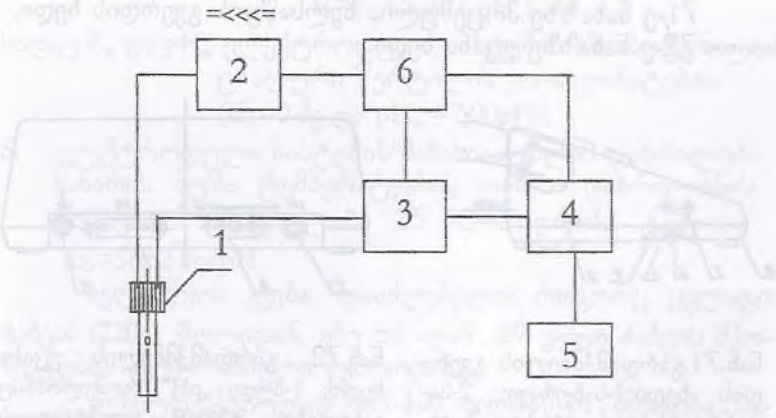
ნახ.71.გარდამქმნელის გვერდის ხედი:1-სახურავი; 2-სამონტაჟო ფირფიტები; 3-კვების ჩართვის ღილაკი; 4-ბატარეები; 5-ავტონომიური კვების სახურავი; 6-ხრახნი; 7-რეგულატორები „pH$_0$“, „0 მვ“; 8-ძირი

ნახ.72. გარდამქმნელის უკანა ხედი: 1-ბუდე „pH“, რომელთანაც ვაერთებთ ЭСКЛ-09 ელექტროდის გასართს; 2- კვების ქსელური ბლოკის გასართი; 3- თერმოკომპენსატორის გასართი; 4-დამიწების მომჭერი

pH-100-ის განმასხვავებელი თავისებურებაა მისი ელექტროდული სისტემა, რომელიც წარმოადგენს კომბინირებულ ერთღერიან ЭСКЛ-09 ტიპის pH-ელექტროდს. მის კონსტრუქციაში შეთავსებულია საზომი pH ელექტროდი და შედარების (დამხმარე) ქლორვერცხლის ელექტროდი.

გარდამქმნელის მუშაობა დაფუძნებულია ელექტროდული სისტემის ემ ძალის გარდაქმნაზე სიდიდით პროპორციულ ძაბვაში მაღალომიანი ოპერაციული მაძლიერებლით (ნახ.73). მაძლიერებლიდან სიგნალი მიეწოდება საზომ სქემას, რომელიც ახდენს ამ სიგნალის ნორმირებას და დაკალიბრებას. ამ კვანძის საშუალებით ხდება აგრეთვე გარდამქმნელის მუშაობის რეჟიმების შერჩევაც. ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი ახდენს საზომი სქემის ნორმირებული სიგნალის გარდაქმნას შესაბამის ციფრულ ეკვივალენტში მისი შემდგომი ინდიკაციით თხევადკრისტალურ ინდიკატორზე შესრულებულ ციფრულ ტაბლოზე.

ხელსაწყოს აწყობა წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით:



ნახ.73. pH-100 -ის ბლოკ-სქემა:

1- ЭСКЛ-09 ელექტროდი; 2-ოპერაციული მაძლიერებელი; 3-საზომი სქემა; 4-ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი; 5-ციფრული ტაბლო; 6-კვების ბლოკი

• ჩავრთოთ გარდამქმნელი კვების ღილაკზე თითის დაჭერით და ვაცადოთ 10 წუთი რეჟიმის დამყარებამდე;

• დავაჭიროთ ღილაკს „pH“ (ნახ.70). და ხელსაწყოს გვერდზე მარჯვენა მხარეს განლაგებული რეზისტორით „pHи“ (ნახ.71) ციფრულ ტაბლოზე დავაყენოთ ჩვენება << 7.00 >>;

• ბუდეს „თერმოკომპენსატორი“ მივუერთოთ წინაღობათა მაღაზია;

• წინაღობათა მაღაზიაზე დავაყენოთ წინაღობის მნიშვნელობა 1400 ო (ეს შეესაბამება თერმოკომპენსატორის წინაღობას 20 ^{0}C -ის დროს);

• იმიტატორიდან გარდამქმნელის შესასვლელს მივაწოდოთ 0 მვ და სახელურით CT.I (სტანდარტი 1) დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება << 7.00 >>;

• იმიტატორიდან მივაწოდოთ გარდამქმნელს ძაბვა მინუს 290,8 მვ (რაც შეესაბამება 14 pH-ს 20 ^{0}C -ის დროს)

და სახელურით CT.II (სტანდარტი 2) დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება << 14.00 >>.

pH -ის გაზომვის რეჟიმში გარდამქმნელის *გრადუირების შემოწმებას* 20 ^{0}C -ის პირობებში აწარმოებენ pH -ის ყოველი ერთეულის შემდეგ იმიტატორიდან შესაბამისი ემ ძალის მიწოდებით

ცხრილი 4

შესამოწმებელი წერტილები, $pH_ш$	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00
ემ ძალის ცხრილური მნიშვნელობები 20^{0} C-ის დროს, მვ	407,2	349,0	290,8	232,7	174,5	116,3	58,2	-58,2	-116,3	-174,5	-232,7	-290,8	-349,0

გაზომვის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილება $\Delta pH=pH_г-pH_ш$ არ უნდა აღემატებოდეს ±0,08 pH.

მილივოლტების გაზომვის რეჟიმში გარდამქმნელის გრადუირების შემოწმება ხდება წერტილებში: -1900; -1500; -1000; -500; 0; 100; 500; 1000; 1500; 1800; 1810; 1820; 1850; 1890; 1891; 1892; 1895; 1900 მვ. იმიტატორიდან მიწოდებული ძაბვების და ტაბლოდან ათვლილი $E_г$ გაზომილი მნიშვნელობების სხვაობა $\Delta E=E_г-E_ш$ არ უნდა აღემატებოდეს ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების მნიშვნელობის დასაშვებ ზღვარს.

ხელსაწყოს აწყობა ბუფერული ხსნარების გამოყენებით. ხელსაწყოს გრადუირების შემოწმების შემდეგ ხდება აწყობა ბუფერული ხსნარების მიხედვით შემდეგი თანმიმდევრობით:

• დავაჭიროთ ღილაკს <<pH>>;

• ელექტროდი და თერმოკომპენსატორი გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით, მოვაცილოთ საფილტრავი ქაღალდით ნარჩენები მათი ზედაპირიდან;

• ჩავძიროთ ელექტროდი და თერმოკომპენსატორი პირველ ბუფერულ ხსნარში, რომლის pH =6,88 20^{0}C -ის დროს;

• სამი წუთის შემდეგ, როდესაც ჩვენებები დამყარდება CT.I სახელურით დავაყენოთ ციფრულ ტაბლოზე პირველი ბუფერული ხსნარის pH-ის მნიშვნელობა ხსნარის რეალური ტემპერატურის გათვალისწინებით (ცხრილი 5).

ცხრილი 5

ბუფერული ხსნარების pH-ის მნიშვნელობები

t, ^{0}C	ბუფერული ხსნარები				
0	1.67	–	4.01	6.98	9.46
5	1.67	–	4.01	6.95	9.39
10	1.67	–	4.00	6.92	9.33
15	1.67	–	4.00	6.90	9.27
20	**1.68**	–	**4.00**	**6.88**	**9.22**
25	1.68	3.56	4.01	6.86	9.18
30	1.69	3.55	4.01	6.84	9.14
35	1.69	3.55	4.02	6.84	9.10
40	1.70	3.54	4.03	6.84	9.07
45	1.70	3.55	4.04	6.83	9.04
50	1.71	3.55	4.06	6.83	9.01
55	1.72	3.56	4.08	6.84	8.99
60	1.73	3.57	4.10	6.84	8.96
65	1.74	3.58	4.11	6.84	8.94
70	1.75	3.59	4.12	6.85	8.92
75	1.76	3.60	4.14	6.85	8.90
80	1.77	3.61	4.16	6.86	8.88
85	1.79	3.62	4.18	6.87	8.86
90	1.80	3.64	4.20	6.88	8.85
95	1.81	3.65	4.22	6.89	8.83

• გამოვრეცხოთ ელექტროდები და თერმოკომპენსატორი გამოხდილი წყლით, მოვაცილოთ წყლის ნარჩენები საფილტრავი ქაღალდით;

• ჩავძიროთ ელექტროდი და თერმოკომპენსატორი მეორე ბუფერულ ხსნარში, მაგალითად pH=4,00-ის მნიშვნელობით 20 ^{0}C-ის დროს;

• ჩვენებათა დამყარების შემდეგ CT.II სახელურით დავაყენოთ ციფრულ ტაბლოზე მეორე ბუფერული ხსნარის pH-ის მნიშვნელობა მისი ტემპერატურის გათვალისწინებით (ცხრილი 5);

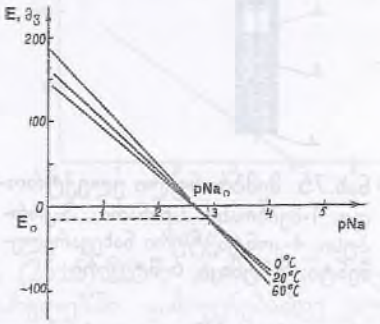
• გამოვრეცხოთ ელექტროდები და თერმოკომპენსატორი გამოხდილი წყლით, მოვაცილოთ წყლის ნარჩენები საფილტრავი ქაღალდით;

• აწყობის შესამოწმებლად დავუბრუნდეთ პირველ ბუფერულ ხსნარს. საჭიროების შემთხვევაში გავიმეოროთ ზემოთ აღწერილი ოპერაციები;

• შევამოწმოთ აწყობის სისწორე და განვსაზღვროთ გაზომვის ცდომილება pH=1,68 და pH=9,22 ბუფერული ხსნარების მიხედვით მათი ტემპერატურების გათვალისწინებით ფორმულით $\Delta pH = pH_{გ} - pH_{ბუფ}$. მეორე ბუფერული ხსნარის შერჩევა ხდება pH-ის გაზომვის მოსალოდნელი ზონის მიხედვით. ტუტე ზონაში (pH>7,00) მუშაობის შემთხვევაში მეორე ასაწყობი ხსნარის სახით უნდა გამოვიყენოთ ბუფერული ხსნარი, რომლის pH=9,22 20 ^{0}C-ის დროს.

აწყობისა და შემოწმების შემდეგ pH-მეტრი შეგვიძლია გამოვიყენოთ საანალიზო ხსნარების სინჯების გასაზომად.

მინის იონსელექტიურ ელექტროდებს შორის pH- ელექტროდის გარდა შეიძლება აღინიშნოს აგრეთვე **ЭСЛ-51-07** მინის ლაბორატორიული ელექტროდი, რომელიც განკუთვნილია წყალხსნარში ნატრიუმისა და ვერცხლის იონების აქტიური კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის. ელექტროდის მახასიათებლის (ნახ.74) დახრილობა 25 ^{0}C ტემპერატურის პირობებში უხდა



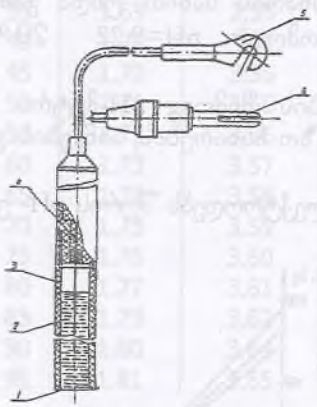
ნახ.74

იყოს არა ნაკლებ მინუს 56,2 მვ/pNa (მვ/pAg). ელექტროდის იზოპოტენციალური წერტილის კოორდინატებია: $pNa_0(pAg_0)=(2,9\pm0,3)$ pNa(pAg); E_0=მინუს 20 მვ „ნატრიუმის“ და პლუს 265 მვ „ვერცხლის“ შემთხვევაში. ელექტროდის ელექტრული წინაღობა 20 °C-ის დროს უნდა იყოს 20-დან 200 მო-მდე. გაზომვის ზღვრებია 25 °C-ის პირობებში:

მინუს 0,5 -დან 4 pNa -მდე და 0,3 -დან 5 pAg -მდე.

ნატრიუმის იონების აქტიური კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის ელექტროდის ბურთულას 24 საათის განმავლობაში ალბობენ *NaCl* -ის $1\cdot10^{-1}$ მოლი/კგ კონცენტრაციის წყალხსნარში.

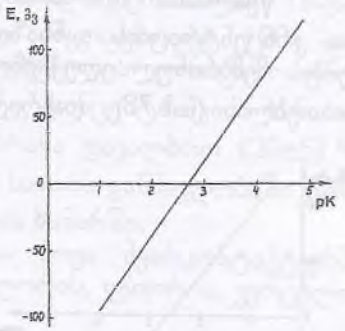
მინის მემბრანული ელექტროდების გარდა არსებობს სხვა მრავალი იონსელექტიური ელექტროდი ფოროვანი პლასტმასებისაგან დამზადებული იონცვლითი მემბრანებით ე.წ. (თხევადი იონცვლითი მემბრანებით). მათი საშუალებით განისაზღვრება კალიუმის, კალციუმის, ამონიუმის, ნიტრატიონებისა და სხვათა აქტიურობა (ნახ.75).



ნახ.75. მემბრანული ელექტროდი: 1-მემბრანა; 2-ხსნარი; 3-კორპუსი; 4-კონტაქტური ნახევარელემენტი; 5-ბუხიკი; 6-შტეკერი

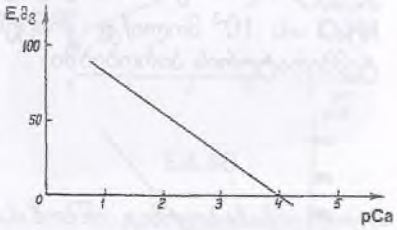
წყალხსნარებში კალიუმის K^+ იონების აქტიურობის განსაზღვრისათვის ფართოდ გამოიყენება **ЭМ-K-01** ტიპის მემბრანული ელექტროდი, რომლის ელექტროდული მახასიათებლის დახრილობა შეადგენს (57±3) მვ/pK 25 °C-ის პირობებში. ელექტროდის კალიუმის მახასიათებლის წრფივობის დიაპაზონია 1,0 -დან 4,0 pK -მდე, გადახრა ელექტროდული მახასიათებლის წრფივობიდან არ უნდა

აღემატებოდეს ±12 მვ-ს. ელექტროდის ელექტრული წინაღობა *KCl* -ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარში (25±5) °C-ის პირობებში უნდა იმყოფებოდეს დიაპაზონში 5-დან 40 მო-მდე. ელექტროდის კორპუსში უნდა ჩავასხათ *KCl* - ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარის 1,5 სმ³ და ელექტროდის მემბრანა დავალბოთ 24 საათის განმავლობაში *KCl*-ის 10^{-3} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარში (20±5) °C ტემპერატურის პირობებში. ელექტროდის ემ ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი pK -ზე 25 °C -ის დროს მოცემულია 76-ე ნახაზზე.



ნახ.76

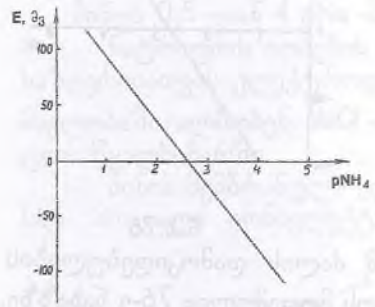
წყალხსნარებში კალციუმის Ca^{2+} იონების აქტიურობის განსაზღვრისათვის გამოიყენება **ЭМ-Ca-01** ტიპის მემბრანული ელექტროდი, რომლის ელექტროდული მახასიათებლის (ნახ.77) დახრილობა შეადგენს (28,5±2,5) მვ/ pCa 25 °C -ის პირობებში. ელექტროდის ელექტროდული მახასიათებლის წრფივობის დიაპაზონია 0,5-დან 4,0 pCa -მდე, გადახრა ელექტროდული მახასიათებლის წრფივობიდან არ უნდა აღემატებოდეს ±3 მვ-ს. ელექტროდის ელექტრული წინაღობა (25±5) °C-ის პირობებში იმყოფება 0,1-დან 3,0 მო-ის ფარგლებში. გამოყენებამდე ელექტროდის კორპუსში უნდა ჩავასხათ $CaCl_2$ -ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარის 1,5 სმ³ და ელექტროდის მემბრანა დავალბოთ 24 საათის განმავლობაში $CaCl_2$ -ის 10^{-3} მოლი/კგ



ნახ.77

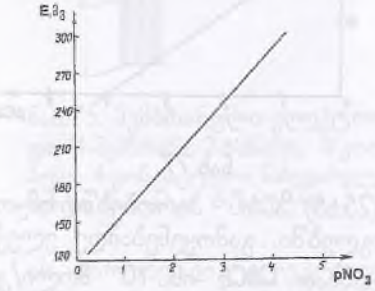
კონცენტრაციის ხსნარში (20±5) °C ტემპერატურის პირობებში.

წყალხსნარებში ამონიუმის NH_4^+ იონების აქტიურობისა და კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის იყენებენ **ЭМ-NH_4-01** ტიპის მემბრანულ ელექტროდს. მისი ელექტროდული მახასიათებლის (ნახ.78) დახრილობა შეადგენს (57±3) მვ/pNH₄ 25 °C -ის დროს. ელექტროდის მახასიათებელი წრფივია 1,0-დან 4,0 pNH₄ -მდე და ამ დიაპაზონში გადახრა წრფივობიდან არ აღემატება ±0,2 pNH₄. ელექტროდის ელექტრული წინაღობა NH_4Cl -ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარში (25±1) °C -ის პირობებში იმყოფება 5-დან 50 მო-მდე დიაპაზონში. ელექტროდის კორპუსში უნდა ჩავასხათ NH_4Cl -ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარის 1,5 სმ³ , ელექტროდის მემბრანა დავალბოთ 24 საათის განმავლობაში NH_4Cl -ის 10^{-3} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარში (20±5) °C ტემპერატურის პირობებში.



ნახ.78

წყალხსნარებში ნიტრატ-იონების NO_3^- აქტიურობის განსაზღვრისათვის ფართოდ გამოიყენება **ЭМ-NO_3-01** ტიპის მემბრანული ელექტროდი. მისი ელექტროდული მახასიათებლის (ნახ.79) დახრილობა შეადგენს (56±3,0) მვ/pNO₃ 25 °C -ის დროს. ელექტროდის მახასიათებელი წრფივია

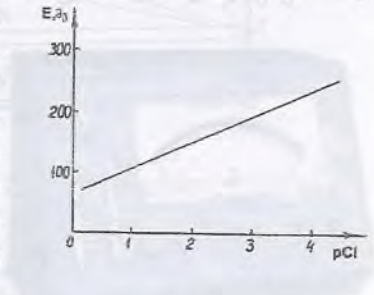


ნახ.79

0,35-დან 4,0 pNO₃ -მდე და ამ დიაპაზონში გადახრა წრფივობიდან არ აღემატება ±12 მვ-ს. ელექტროდის ელექტრული წინაღობა KNO_3 -ის 10^{-3} მოლი/კგ ხსნარში 15-დან 25 °C-მდე დიაპაზონში უნდა იმყოფებოდეს 100 -დან 900 კო-მდე ფარგლებში. ელექტროდის კორპუსში უნდა ჩავასხათ KNO_3 -ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარის 1,5 სმ³ და ელექტროდის მემბრანა დავალბოთ (20±5) °C ტემპერატურის პირობებში 24 საათის განმავლობაში KNO_3 -ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარში.

გარკვეული გავრცელება პოვა მყარკონტაქტურმა ელექტროდებმა, მაგალითად ქლორის, ფთორის, ვერცხლის იონების განსაზღვრისათვის.

მაგალითის სახით განვიხილოთ წყალხსნარებში ქლორის Cl^- იონების აქტიურობის გასაზომად გამოყენებული **ЭМ-Cl-01** ტიპის მემბრანული ელექტროდი. ამ ელექტროდის ქლორიდული მახასიათებლის (ნახ.80) დახრილობა შეადგენს (59±3) მვ/pCl 25 °C -ის დროს. ელექტროდის მახასიათებელი წრფივია 0,22-დან 3,5 pCl -მდე და ამ დიაპაზონში გადახრა წრფივობიდან არ აღემატება ±12 მვ-ს. ელექტროდის ელექტრული წინაღობა KCl -ის 10^{-1} მოლი/კგ ხსნარში (20±1) °C პირობებში იმყოფება 0,01-დან 0,5 მო-მდე დიაპაზონში. გამოყენებამდე ელექტროდის კორპუსში უნდა ჩავასხათ KCl-ის 10^{-1} მოლი/კგ კონცენტრაციის ხსნარის 1,5 სმ³ და ელექტროდის მემბრანა დავალბოთ 24 საათის განმავლობაში KCl-ის 10^{-3} მოლი/კგ ხსნარში. დროთა განმავლობაში მყარი მემბრანის ზედაპირზე აფსკის წარმოქმნის და სხვა მიზეზების გამო იცვლება ელექტროდის პოტენციალი საკონტროლო ხსნარში (KCl-ის 10^{-3} მოლი/კგ ხსნარში განსახილველი ელექტროდის



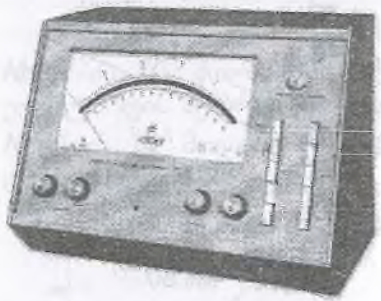
ნახ.80

პოტენციალი ქლორვერცხლის ელექტროდის ძიძართ (25±1) ^{0}C ტემპერატურის დროს უნდა შეადგენდეს (198±12) მვ-ს). ამიტომ პერიოდულად აუცილებელი ხდება მემბრანის გარე ზედაპირის გაწმენდა ზუმფარით.

იონების აქტიურობის გასაზომად იონსელექტური ელექტროდისა და ქლორვერცხლის დამხმარე ელექტროდისაგან შემდგარ ელექტრულ წყვილს აერთებენ სათანადო ხელსაწყოსთან, რომელსაც pX-მეტრი ანუ იონომეტრი ეწოდება.

იონომეტრების მრავალსახეობიდან დეტალურად შევჩერდეთ ანალოგური ЭВ-74 ტიპის, ციფრული И-120.1(2) ტიპის და ციფრული მიკროპროცესორული И-135 იონომეტრების განხილვაზე.

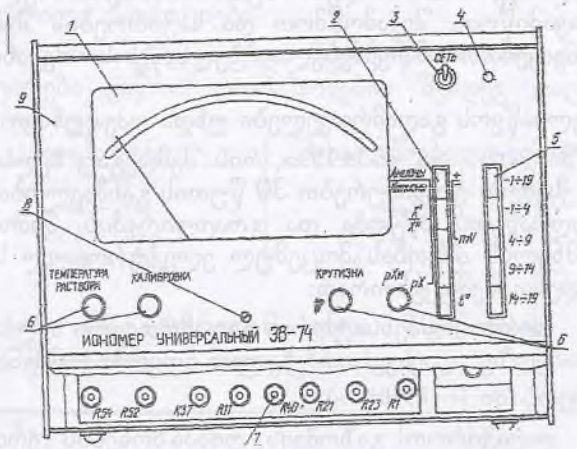
ЭВ-74 ტიპის იონომეტრი შედგება გარდამქმნელისა (ნახ.81) და შტატივისაგან ელექტროდების დასამაგრებლად და საკონტროლებელი ხსნარის შემცველი ჭურჭლების მოსათავსებლად. pX-ის გაზომვის ზღვრებია -1დან 19 pX-მდე დიაპაზონებით:-1÷19; -1÷4; 4÷9; 9÷14; და 14÷19 pX. პირველ (ფართო) დიაპაზონში გაზომვის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილება შეადგენს ±0,4 ერთეულს, ხოლო ოთხ დანარჩენ (ვიწრო) დიაპაზონში — ±0,04 ერთეულს. ხელსაწყოს კვება ხდება ქსელის ძაბვით (220 ვ,50 ჰც).



ნახ.81.გარდამქმნელის საერთო ხედი

ხელსაწყოს წინა პანელზე (ნახ.82) განლაგებულია ოპერატიული მართვის ორგანოები და მაჩვენებელი ხელსაწყო. საქარხნო აწყობისა და რეგულირების ორგანოები განლაგებულია ამ პანელის უკან.

ოპერატიული მართვის ორგანოებს მიეკუთვნება: ქსელის ტუმბლერი 3, ხსნარის ტემპერატურის, დაკალიბრების, დახრილობის, $pX_и$ სახელურები 6; სამუშაოს სახეობის არჩევის 5 ღილაკი: <<ანიონები/კატიონები (+/-)>>, <<X^I/X^{II}>>, <<mV>>, <<pX>>, და <<t^0>>; გაზომვის დიაპაზონის არჩევის 5 ღილაკი: <<-1÷19>>, <<-1÷4>>, <<4÷9>>, <<9÷14>>, <<14÷19>>; მაჩვენებელი ხელსაწყოს კორექტორი.



ნახ.82. გარდამქმნელი (წინა ხედი): 1-მაჩვენებელი ხელსაწყო; 2-მუშაობის სახეობის შერჩევის ღილაკები; 3-ქსელის ამომრთველი; 4-ჩართვის ინდიკაციის თვალაკი; 5-გაზომვის დიაპაზონის არჩევის ღილაკები; 6-ხელსაწყოს ოპერატიული მართვის სახელურები; 7-ხელსაწყოს საქარხნო აწყობისა და რეგულირების ცვლადი რეზისტორების ღერძები; 8-ნულის კორექტორი; 9-წინა პანელი

ღილაკი <<ანიონები/კატიონები (+/-)>> საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ ანიონების აქტიურობის ან დადებითი პოტენციალების გაზომვა ღილაკის მოშვებულ და კატიონებისა და უარყოფითი პოტენციალებისა — ღილაკის დაჭერილ მდგომარეობაში; ღილაკი <<X^I/X^{II}>> — ერთვალენტიანი ან ორვალენტიანი იონების აქტიურობის გაზომვა ღილაკის შესაბამისად მოშვებულ ან დაჭერილ მდგომარეობაში; დამოკიდებული ფიქსაციის ღილაკებით <<mV>>, <<pX>>, და

<<t°>>; შესაძლებელია ხელსაწყოს ჩართვა მილივოლტმეტრის (<<mV>>) , იონომეტრის (<<pX>>) რეჟიმში ან ხსნარის ტემპერატურის დაყენება ხელით თერმოკომპენსაციის დროს (<<t°>>).

წინა პანელზე გამოტანილი სახელურებით გარდამქმნელის აწყობის დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ შესაბამის პოტენციომეტრებს გააჩნია მდოვრე და უხეში რეგულირების ზონები.

ხელსაწყოს მომზადება მუშაობისათვის. ხელსაწყო უნდა დავამიწოთ, შევამოწმოთ და საჭიროების შემთხვევაში დავაყენოთ მაჩვენებელი ხელსაწყოს მექანიკური ხუჭი.

ხელსაწყოს გადამრთველები უნდა დავაყენოთ მდგომარეობაში <<t°>> და <<-1÷19>>, რის შემდეგაც ხელსაწყოს ვრთავთ ქსელში და ვახურებთ 30 წუთის განმავლობაში.

ხელსაწყოს აწყობა და გრადუირების შემოწმება. გარდამქმნელის აწყობას მოცემულ ელექტროდულ სისტემაზე ვახდენთ შემდეგნაირად:

- თერმოკომპენსატორის გადამრთველი ხელსაწყოს უკანა პანელზე დავაყენოთ ხელით თერმოკომპენსაციის მდგომარეობაში (<< РУЧН.>>).
- დავაჭიროთ გაზომვის დიაპაზონების ერთ-ერთ ღილაკს (გარდა ღილაკისა <<-1÷19>>);
- დავაჭიროთ ღილაკს <<t°>> და ხსნარის ტემპერატურის შესაბამისი სახელურით (მარცხნიდან პირველი სახელური) დავაყენოთ მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარი ნიშნულზე <<20>> 0÷100 სკალის მიხედვით;
- დავაჭიროთ ღილაკებს<<pX>>,<< АНИОНЫ/КАТИОНЫ>> და <<-1÷4>>;
- იმიტატორიდან ხელსაწყოს შესავალს მივაწოდოთ -1pX -ის შესაბამისი ძაბვა, 20°C -ის დროს (465,3 მვ);
- დაკალიბრების სახელურით (მარცხნიდან მეორე სახელური) დავაყენოთ მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარი სკალის საწყის ნიშნულზე;

- იმიტატორიდან ხელსაწყოს შესავალს მივაწოდოთ 19 pX -ის შესაბამისი ძაბვა 20°C -ის დროს (-698,0 მვ);
- დავაჭიროთ ღილაკს <<14÷19>> და დახრილობის შესაბამისი სახელურით (მარცხნიდან მესამე სახელური) დავაყენოთ მაჩვენებელი ხელსაწყოს ისარი სკალის ბოლო ნიშნულზე;
- გავიმეოროთ საჭიროების შემთხვევაში ზემოთ ჩამოთვლილი ოპერაციები.
- ამის შემდეგ უნდა შევამოწმოთ გარდამქმნელის გრადუირება ვიწრო დიაპაზონების შემდეგ დაციფრულ ნიშნულებზე

დიაპაზონი	შესამოწმებელი ნიშნულები
<<-1÷ 4>>	-1; 0; 1; 2; 3; 4
<<4 ÷ 9>>	4; 5; 6; 7; 8; 9
<<9 ÷14>>	9; 10; 11; 12; 13; 14
<<14 ÷19>>	14; 15; 16; 17; 18; 19

ამისათვის იმიტატორიდან უნდა მივაწოდოთ გარდამქმნელს შესაბამისი ემ ძალა (ცხრილი 6)

ცხრილი 6

სკალის შესამოწმებელი ნიშნულები $pX_ე$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ემ ძალის ცხრილური მნიშვნელობები 20°C -ის დროს	465,3	407,2	349,0	290,8	232,7	174,5	116,3	58,2	0	-58,2	-116,3

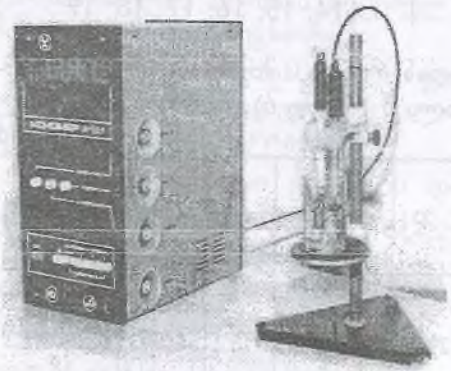
სკალის შესამოწმებელი ნიშნულები $pX_ე$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ემ ძალის ცხრილური მნიშვნელობები 20°C -ის დროს	-174,5	-232,7	-290,8	-349,0	-407,2	-465,3	-523,5	-581,6	-639,8	-698

გაზომვის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილება, ე.ი. სხვაობა ხელსაწყოს საშუალებით ათვლილ $pX_ზ$ მნიშვნელობასა და შესამოწმებელი ნიმუშის ნომინალურ $pX_ნ$ მნიშვნელობას შორის, $\Delta pX=pX_ზ-pX_ნ$ არ უნდა აღემატებოდეს ± 0,04 ერთეულს.

შემდეგ უნდა განხორციელდეს იონომეტრის აწყობა საკონტროლო ხსნარების მიხედვით.

ციფრული იონომეტრებიდან განვიხილოთ **И-120.1** და **И-120.2** ლაბორატორიული იონომეტრები. **И-120.1** ტიპის იონომეტრს გააჩნია გალვანურად განცალკევებული ანალოგური და ციფრული გამოსავალი, ხოლო **И-120.2** ტიპის იონომეტრს ციფრული გამოსავალი არ გააჩნია.

იონომეტრის საერთო ხედი მოცემულია 83-ე ნახაზზე. pX -ის გაზომვის ზღვრებია -1-დან 19,99 pX -მდე, ხოლო ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში ხელსაწყო უზრუნველყოფს გაზომვას -1999 მვ-დან + 1999 მვ-მდე.



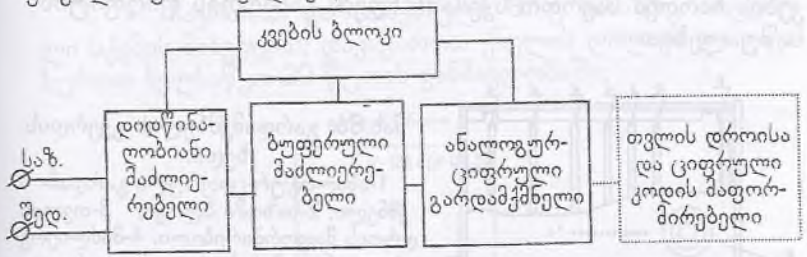
ნახ.83. იონომეტრის საერთო ხედი

უმცროსი თანრიგის ერთეულის ფასია (დისკრეტულობაა): აქტიურობის გაზომვის რეჟიმში 0,01 pX; ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში 1 მვ.

გარდამქმნელის ძირითადი დასაშვები ცდომილებაა ± 0,02 pX და ± 2 მვ შესაბამისად.

ხელსაწყოს კვება ხდება ქსელის ძაბვით (220 ვ, 50 ჰც).

გარდამქმნელის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ელექტროდული სისტემის ემ ძალის გარდაქმნაზე სიდიდით პროპორციულ ძაბვაში ბუფერული მაძლიერებლის გამოსავალზე (ნახ.84).

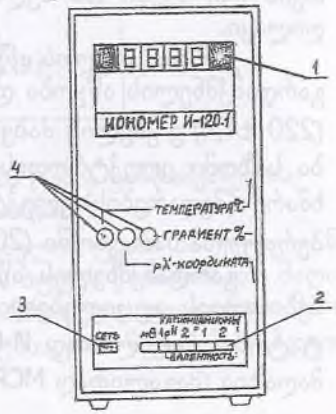


ნახ.84. **И-120.2** (**И-120.1**) ტიპის გარდამქმნელის ბლოკ-სქემა

ბუფერული მაძლიერებელი წარმოადგენს მაძლიერებლის რეჟიმში მიმუშავე არამაინვერტირებელ მაძლიერებელს და შესრულებულია გასაზომი ძაბვის მოდულაციადემოდულაციის სქემის მიხედვით.

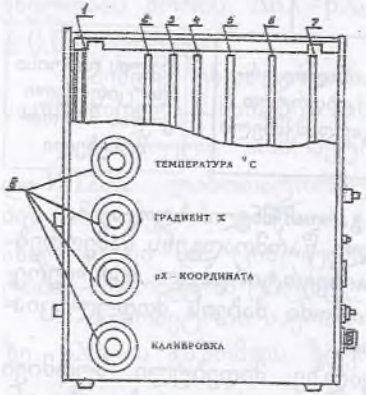
მაძლიერებლის გამოსავალზე მიღებული მუდმივი ძაბვის გარდაქმნა ციფრულ კოდში ციფრულ ტაბლოზე ინდიკაციისათვის ხდება ინტეგრალური ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელით. ციფრული კოდის გამოტანას ახორციელებს თვლის დროისა და ციფრული კოდის მაფორმირებელი. მისივე საშუალებით ხდება მესავალი და გამოსავალი წრედების გალვანური განცალკევება.

გარდამქმნელის წინა ხედი მოცემულია 85-ე ნახაზზე, ხოლო გვერდის ხედი 86-ე ნახაზზე.



ნახ.85. გარდამქმნელის წინა ხედი:
1-ციფრული ტაბლო; 2-გაზომვის რეჟიმების ღილაკიანი გადამრთველი; 3-ხელსაწყოს ჩართვის ღილაკი; 4-პარამეტრების ინდიკაციის ღილაკები

კონსტრუქციულად საზომი გარდამქმნელი შეიცავს 86-ე ნახაზზე ნაჩვენებ ფუნქციონალურ ბლოკებს. ბლოკების ჩართვა საერთო სქემაში ხდება გასართის ფირფიტის საშუალებით.



ნახ.86. გარდამქმნელის გვერდის ხედი:
1-ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი; 2-საზომი ბლოკი; 3-თვლის დროის მაფორმირებელი; 4-მაძლიერებელი; 5-კვების ბლოკი; 6-ციფრულ-ანალოგური გარდამქმნელი; 7-ციფრული კოდის მაფორმირებელი; 8-პოტენციომეტრების სახელურები დაკალიბრებისა და pX –კოორდინატის, გრადიენტისა და ტემპერატურის დაყენებისათვის

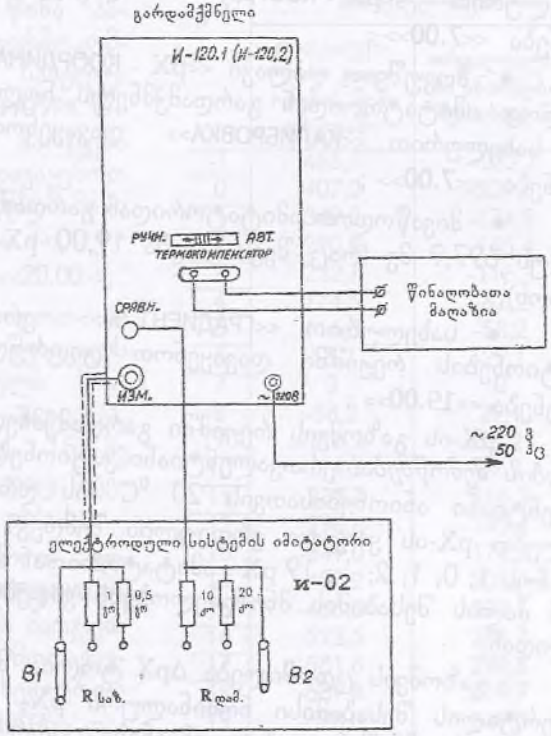
ოპერატიული აწყობის ორგანოები გამოტანილია გარდამქმნელის მარჯვენა გვერდით მხარეზე (ნახ.86), ხოლო წინა პანელზე გამოტანილია მათი შესაბამისი ღილაკები. ამ ღილაკებს ვიყენებთ პარამეტრების დაყენებისა და კონტროლის დროს. წინა პანელზე (ნახ.85) განლაგებულია აგრეთვე ციფრული ტაბლო, გაზომვის რეჟიმების გადართვის ღილაკები და ხელსაწყოს ჩართვისა და გამორთვის ღილაკი.

გარდამქმნელის აწყობა და გრადუირების შემოწმება. გარდამქმნელის აწყობა და გრადუირების შემოწმება ხდება (220 ±4,4) ვ ქსელის ძაბვის პირობებში, როდესაც წინაღობა საზომი ელექტროდის წრედში $R_{საზ.}=0$, წინაღობა დამხმარე (შედარების) ელექტროდის წრედში $R_{დამ.}=0$ და ტემპერატურა სათავსოში (20 ±5) ^{0}C -ია.

გარდამქმნელის აწყობისა და გრადუირების შემოწმებისათვის აუცილებელია ელექტროდული სისტემის იმიტატორი (მაგალითად **И-02**) და 0,05 კლასის წინაღობათა მაღაზია (მაგალითად **МСР-63**).

გარდამქმნელის აწყობა ხდება შემდეგი მიმდევრობით:

- ჩავრთოთ გარდამქმნელი 87-ე ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით; დავაჭიროთ ქსელის ღილაკს და გავახუროთ ხელსაწყო 20 წუთის განმავლობაში;



ნახ.87. დანადგარის სქემა **И-120** ტიპის გარდამქმნელის შემოწმებისათვის

- მივუერთოთ გარდამქმნელის უკანა პანელზე განლაგებულ თერმოკომპენსატორის ბუდეს წინაღობათა მაღაზია, თერმოკომპენსატორის გადამრთველი დავაყენოთ მარჯვენა (ავტომატური თერმოკომპენსაციის შესაბამის) მდგომარეობაში;

• დავაყენოთ წინაღობათა მაღაზიაზე წინაღობის მნიშვნელობა 1400 ო (ეს შეესაბამება თერმოკომპენსატორის წინაღობას 20 °C -ის დროს);

• დავაჭიროთ ღილაკს <<pX - КООРДИНАТА>> და სახელურით <<pX - КООРДИНАТА>> დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება <<7.00>> ;

• მოვუშვათ ღილაკი <<pX - КООРДИНАТА>> , მივაწოდოთ იმიტატორიდან გარდამქმნელს ნულოვანი ძაბვა და სახელურით <<КАЛИБРОВКА>> დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება <<7.00>> ;

• მივაწოდოთ იმიტატორიდან გარდამქმნელს ძაბვა მინუს 697,9 მვ (რაც შეესაბამება 19,00 pX-ს 20 °C -ის დროს);

• სახელურით <<ГРАДИЕНТ %>> ერთვალენტიანი კატიონების რეჟიმში დავაყენოთ ციფრულ ტაბლოზე ჩვენება <<19.00>> ;

pX-ის გაზომვის რეჟიმში გარდამქმნელის *გრადუირების შემოწმებას* ერთვალენტიანი კატიონებისა და ორვალენტიანი ანიონებისათვის 20 °C -ის დროს ვახორციელებთ pX-ის ყოველი ერთეულის შემდეგ წერტილებში: მინუს 1; 0; 1; 2; ...; 19 pX . იმიტატორიდან მისაწოდებელი ემ ძალის შესაბამის მნიშვნელობებს ვიღებთ მე-7 ცხრილიდან.

გაზომვის ცდომილება ΔpX ტოლია შესამოწმებელი წერტილის შესაბამისი ნომინალური $pX_ნ$ და გაზომილი ფაქტიური მნიშვნელობის (ჩვენება ციფრულ ტაბლოზე) $pX_გ$ სხვაობისა. ეს ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს ძირითადი დასაშვები ცდომილების ზღვარს (±0,02 pX).

კონკრეტული იონსელექტიური ელექტროდული სისტემის გამოყენებისას **И-120** ტიპის გარდამქმნელის გრადუირება და აწყობა მიზანშეწონილია განხორციელდეს საკონტროლო ხსნარების მიხედვით.

მაგალითად, ნატრიუმის იონების აქტიურობის (pNa) გაზომვისას **ЭСЛ-51-07** მინის და **ЭВЛ-1М3** დამხმარე

ქლორვერცხლის ელექტროდისაგან შემდგარი ელექტროდული წყვილის გამოყენების შემთხვევაში, გარდამქმნელის *გრადუირება* ხდება შემდეგნაირად:

ცხრილი 7

pX	ემ ძალის ცხრილური მნიშვნელობები	
	ერთვალენტიანი კათიონების შემთხვევაში	ორვალენტიანი ანიონების შემთხვევაში
-1	465,3	--232,7
0	407,2	-209,6
1	349,0	-174,5
2	290,8	-145,4
3	232,7	-116,3
4	174,5	-87,2
5	116,3	-58,2
6	58,2	-29,1
7	0	0
8	-58,2	29,1
9	-116,3	58,2
10	-174,5	87,2
11	-232,7	116,3
12	-290,8	145,4
13	-349,0	174,5
14	-407,2	203,6
15	-465,3	232,7
16	-523,5	261,7
17	-581,6	290,8
18	-639,8	319,9
19	-698,0	349,0
20	-756,1	378,1

• დავაჭიროთ ღილაკს <<ТЕМПЕРАТУРА °C>> ხელსაწყოს წინა პანელზე და თერმოკომპენსატორის სახელურით <<ТЕМПЕРАТУРА °C>> (ხელსაწყოს მარჯვენა გვერდზე) დავაყენოთ ტაბლოზე შესაბამისი მნიშვნელობა, მაგალითად, 20 °C —<<20.00>>;

• მივაწოდოთ ხელსაწყოს შესავალს ელექტროდული სისტემის **И-02** იმიტატორიდან მინუს 15 მვ ძაბვა, რომელიც შეესაბამება 3,0 pNa-ს;

• დავაჭიროთ ღილაკს <<pX - КООРДИНАТА>> და ხელსაწყოს მარჯვენა გვერდზე მოთავსებული სახელურით <<pX - КООРДИНАТА>> დავაყენოთ ტაბლოზე მნიშვნელობა <<3.00>> ;

• მოვუშვათ ღილაკი <<pX - КООРДИНАТА>> და სახელურით <<КАЛИБРОВКА>> დავაყენოთ ტაბლოზე მნიშვნელობა <<3.00>> ;

• მივაწოდოთ ხელსაწყოს შესავალს +101,3 მვ (რაც შეესაბამება 1,0 pNa-ს) და სახელურით <<ГРАДИЕНТ%>> დავა-

ყენოთ ტაბლოზე მნიშვნელობა <<1.00>>. საჭიროების შემთხვევაში ოპერაცია გავიმეოროთ.

გარდამქმნელის *აწყობა* საკონტროლო ხსნარების მიხედვით pNa-ის გასაზომად ხდება შემდეგნაირად:

- შევირჩიოთ ტემპერატურული კომპენსაციის სახეობა. ხსნარის უცვლელი ტემპერატურისას (±2 °C-ის ფარგლებში) ვირჩევთ ხელით თერმოკომპენსაციას, ტემპერატურის უფრო დიდი ცვალებადობისას კი — ავტომატურ თერმოკომპენსაციას;
- ელექტროდული წყვილი გამოვრეცხოთ გამოხდილ წყალში და მოვათავსოთ *NaCl*-ის პირველ საკალიბრებელ ხსნარში კონცენტრაციით 10^{-3} მოლი/ლ;
- დავაყენოთ ხელსაწყოს ტაბლოზე ხსნარის ტემპერატურის მნიშვნელობა (იხილეთ გარდამქმნელის გრადუირების პირველი პუნქტი);
- დავაჭიროთ ღილაკს <<pX - КООРДИНАТА>> და სახელურით <<pX - КООРДИНАТА>> დავაყენოთ ხელსაწყოს ტაბლოზე მნიშვნელობა <<3.02>>;
- მოვუშვათ ღილაკი <<pX - КООРДИНАТА>> და სახელურით <<КАЛИБРОВКА>> დავაყენოთ ხელსაწყოს ტაბლოზე მნიშვნელობა <<3.02>>;
- გამოხდილ წყალში ელექტროდების გამორეცხვის შემდეგ ჩავძიროთ ისინი *NaCl*-ის მეორე საკალიბრებელ ხსნარში კონცენტრაციით 10^{-1} მოლი/ლ;
- ჩვენებათა დამყარების შემდეგ სახელურით <<ГРАДИЕНТ%>> დავაყენოთ ტაბლოზე მეორე საკალიბრებელი ხსნარის pNa-ის მნიშვნელობა —<<1.11>>;

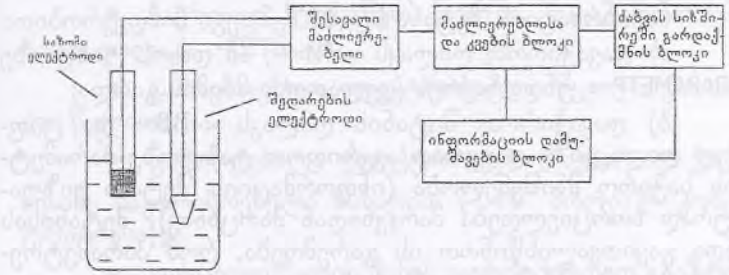
შემდეგ უნდა შევამოწმოთ ხელსაწყოს ჩვენება *NaCl*-ის 10^{-2} მოლი/ლ და 1 მოლი/ლ კონცენტრაციის შესამოწმებელი ხსნარების მიხედვით. პირველ შესამოწმებელ ხსნარს შეესაბამება pNa ნომინალური მნიშვნელობა 2,04, ხოლო მეორეს — 0,18 (20 °C-ის დროს). ხელსაწყოს ტაბლოდან ფაქტიური მნიშვნელობების ათვლის შემდეგ

ვანგარიშობთ გაზომვის ცდომილებას $\Delta pNa = pNa_{\text{ზომ}} - pNa_{\text{ფაქტ}}$. საკონტროლო ხსნარების მიხედვით ხელსაწყოს შემოწმებისას გაზომვის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს ± 0,05 pNa.

И-135 მიკროპროცესორული იონომეტრის (ნახ.88) მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ელექტროდული სისტემის ემ ძალის გარდაქმნაზე სიდიდით პროპორციულ ძაბვაში მაძლიერებლის გამოსავალზე. ძაბვა მაძლიერებლის გამოსასვლელიდან მიეწოდება ძაბვის სიხშირეში გარდამქმნელს. სიხშირული სიგნალები მიეწოდება ინფორმაციის დამუშავების ბლოკს (ნახ.89).



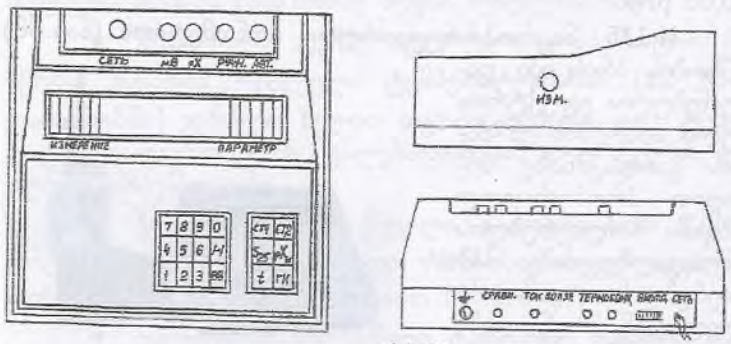
ნახ.88. И-135 იონომეტრის საერთო ხედი



ნახ.89. И-135 იონომეტრის ბლოკ-სქემა

იონომეტრის ფუნქციონირების ალგორითმის შესაბამისად სიხშირეთა დამუშავება ხდება მიკროპროცესორული დიდი ინტეგრალური სქემის საშუალებით და შედეგები აისახება ორ ციფრულ ტაბლოზე. ტაბლო <<ИЗМЕРЕНИЕ>> (ნახ. 90) ემსახურება გასაზომი სიდიდეე-

ბის <<pX>> და <<MB>> ინდიკაციას, ხოლო ტაბლო <<ПАРАМЕТР>> ასახავს გასაზომ ტემპერატურას (<<t>> რეჟიმში ავტომატუ-



ნახ.90

რი თერმოკომპენსაციის დროს), აგრეთვე გამოიყენება <<CT1>>, <<CT2>>, <<$pX_и$>>,<<S_{25}>> და <<t>> სიდიდეების კლავიატურიდან შეტანისა და გამოტანისათვის (<<t>> რეჟიმში კლავიატურიდან შეტანა ხდება მხოლოდ ხელით თერმოკომპენსაციის დროს).

ინფორმაციის შეტანა ხდება შემდეგი მიმდევრობით:

ა) დავაჭიროთ ღილაკს <<ГИ>> ; ამ დროს ტაბლოზე <<ПАРАМЕТР>> უნდა ჩაქრეს ყველაფერი მძიმის გარდა;

ბ) დავაჭიროთ შეტანის ღილაკს <<ВВ>> და ციფრულ ღილაკებზე დაჭერით ავკრიფოთ ტაბლოზე პარამეტრის საჭირო მნიშვნელობა (ინფორმაციის შეტანა ვიზუალურად ხორციელდება მარჯვნიდან მარცხნივ). შეტანისას უნდა გავითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ პარამეტრების ტაბლოზე მძიმე დაფიქსირებულია;

გ) დავაჭიროთ შესატანი პარამეტრის მაიდენტიფიცირებელ ღილაკს, ამ დროს ტაბლო <<ПАРАМЕТР>> ჩაქრება, რაც ნიშნავს შეტანის ოპერაციის დასრულებას.

ტაბლოზე რომელიმე პარამეტრის შესახებ ინფორმაციის გამოტანისათვის უნდა დავაჭიროთ ამ პარამეტრის მაიდენტიფიცირებელ ღილაკს. ამ დროს პარამეტრების ტაბლოზე გაჩნდება მისი ციფრული მნიშვნელობა.

მარჯვენა ინდიკატორის ჩაქრობისათვის უნდა დავაჭიროთ ღილაკს <<ГИ>> .

განვიხილოთ აღწერილი **И-135** იონომეტრის მუშაობა **ЭМ-NO_3 -01** ტიპის იონსელექტიურ ნიტრატულ საზომ და **ЭВЛ-1М3** ტიპის დამხმარე ელექტროდებისაგან შემდგარ ელექტროდულ წყვილთან.

ნიტრატული ელექტროდი მივუერთოთ გარდამქმნელის ბუდეს <<ИЗМ.>> მარჯვენა გვერდით პანელზე, ხოლო დამხმარე (შედარების) ელექტროდი — ბუდეს <<СРАВН.>> ხელსაწყოს უკანა პანელზე (ნახ.90).

ხელსაწყოს დაკალიბრებისათვის მოვამზადოთ სამი ხსნარი. ხსნარებს ვამზადებთ *KNO_3* -ის 0,1 მოლი/ლ ხსნარიდან მისი განზავებით კალიუმ-ალუმინის 1%-იანი შაბიტი: $1 \cdot 10^{-2}$ მოლი/ლ; $1 \cdot 10^{-3}$ მოლი/ლ და $1 \cdot 10^{-4}$ მოლი/ლ კონცენტრაციისა.

ხელსაწყოს *დაკალიბრებას* ვახორციელებთ შემდეგი მიმდევრობით:

- დავაჭიროთ ხელსაწყოს ზედა ნაწილში განლაგებულ ღილაკებს <<pX>> და <<РУЧН.>> ;
- ჩავრთოთ ხელსაწყო ქსელში, დავაჭიროთ სათანადო ღილაკს <<СЕТЬ>> ;
- გამოვრეცხოთ ელექტროდული წყვილი გამოხდილი წყლით;
- გამორეცხილი ელექტროდები ჩავძიროთ ჭიქაში მესამე საკალიბრებელი ხსნარით ($1 \cdot 10^{-4}$ მოლი/ლ კონცენტრაციისა);
- ვერცხლისწყლის მინის თერმომეტრით გავზომოთ ხსნარის ტემპერატურა ±1 ^{0}C სიზუსტით, დავაჭიროთ ღილაკს <<ВВ>> ; (ამ დროს მარჯვენა ტაბლოზე უნდა განათდეს ნულები), ავკრიფოთ კლავიატურაზე ხსნარის გაზომილი ტემპერატურის შესაბამისი მნიშვნელობა (მაგალითად <<22.00>>) და დავაჭიროთ ღილაკს <<t>> მარჯვენა კლავიატურაზე. როდესაც მარცხენა ტაბლოზე 2-3 წუთის

შემდეგ დამყარდება ჩვენება, დავაჭიროთ ღილაკს <<BB>> (ამ დროს გამოჩნდება ნულები მარჯვენა ტაბლოზე);

- შემდეგ დავაჭიროთ ღილაკებს <<4.00>> (მარჯვენა ტაბლოზე გაჩნდება ციფრები <<4.00>>) და <<CT1>> (მარცხენა ტაბლოზე დამყარდება მნიშვნელობა <<4.00>>);
- შევცვალოთ 10^{-4} მოლი/ლ კონცენტრაციის საკალიბრებელი ხსნარი 10^{-2} მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარით და ელექტროდული წყვილი გამოხდილი წყლით გამორეცხვის გარეშე ჩავძიროთ ამ ხსნარში. მარცხენა ტაბლოზე ჩვენებათა დამყარების შემდეგ დავაჭიროთ ღილაკებს <<BB>> , <<2.00>> და <<CT2>>. მარცხენა ტაბლოზე უნდა დამყარდეს მნიშვნელობა <<2.00>> . მოვიცადოთ 1-2 წუთი და თუ ჩვენება შეიცვლება, გავიმეოროთ აღწერილი ოპერაციები;
- დავაჭიროთ ღილაკს <<S_{25}>> მარჯვენა კლავიატურაზე. ამ დროს მარჯვენა ტაბლოზე გამოჩნდება ელექტროდული სისტემის მახასიათებლის დახრილობის მნიშვნელობა;
- გამოხდილ წყალში ელექტროდული წყვილის საგულდაგულოდ გამორეცხვის შემდეგ მას ვათავსებთ 10^{-3} მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარში; ორი სამი წუთის შემდეგ ავითვალოთ იონომეტრის გაზომვის შედეგი. ამ შედეგისა და შესამოწმებელი ხსნარის აქტიურობის მნიშვნელობას (3,00) შორის სხვაობა გვაძლევს გაზომვის ცდომილებას ΔpNO_3;
- იმ შემთხვევაში თუ ცდომილება აღემატება ±0,5 უნდა შევამოწმოთ დაკალიბრება.

ქსელიდან ხელსაწყოს ამორთვის შემთხვევაში დაკალიბრება ჩასატარებელია ხელახლა.

ზემოთ ჩამოთვლილი ოპერაციების ჩატარების შემდეგ И-135 ტიპის იონომეტრი მზადაა ნიტრატომეტრის სახით სამუშაოდ. ხელსაწყო მოგვცემს პროდუქტის სინჯების ანალიზის შედეგებს ნიტრატ-იონების აქტიურობის (pNO_3) ერთეულებში.

საკალიბრებელი ხსნარების მიხედვით იონომეტრების აწყობისა და შემოწმების შემდეგ ეს ხელსაწყოები შეგვიძლია გამოვიყენოთ საანალიზებელ ხსნარებში სათანადო იონების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვისაც.

ასე, მაგალითად, ნატრიუმის იონების კონცენტრაცია საანალიზებელ სინჯში განისაზღვრება ფორმულით

$$C_{Na^+}=23000 \cdot 10^{-pNa} \text{ მგ/ლ},$$

სადაც pNa სინჯის ანალიზისას ხელსაწყოს ჩვენებაა.

მაგალითი: თუ სინჯის pNa -ის გაზომილი მნიშვნელობაა 2,5, მაშინ ზემოთ მოცემული ფორმულის თანახმად მივიღებთ:

$$C_{Na^+}=23000 \cdot 10^{-2,5} \text{ მგ/ლ},$$

$$\lg C_{Na^+}= \lg 23000-2,5 \cdot \lg 10=4,3617-2,5=1,8617.$$

ანტილოგარითმების ცხრილის მიხედვით მოიძებნება ნატრიუმის იონების კონცენტრაციის საძიებელი მნიშვნელობა

$$C_{Na^+}=72,73 \text{ მგ/ლ}.$$

თუ იონომეტრ-მილივოლტმეტრების საშუალებით განისაზღვრება ხსნარებში ელექტროდული წყვილის ემ ძალა მილივოლტებში, მაშინ იონების კონცენტრაციის მოძებნა ხდება სხვანაირად.

თუ ცნობილია ელექტროდული წყვილის ემ ძალა ნაკლებად კონცენტრირებულ პირველ საკალიბრებელ ხსნარში E_1 (ამ ხსნარს შეესაბამება აქტიურობის მეტი მნიშვნელობა a_1 pX ერთეულებში) და მეტად კონცენტრირებულ მეორე საკალიბრებელ ხსნარში— E_2 (ამ ხსნარს შეესაბამება აქტიურობის ნაკლები მნიშვნელობა a_2 pX ერთეულებში), საანალიზებელ ხსნარში E_x ემ ძალის გაზომვის შემდეგ საძიებელი იონების კონცენტრაცია სინჯში მგ/ლ-ში განისაზღვრება ფორმულით

$$C_x = C_2 \cdot \text{ant}\lg \frac{\frac{E_x - E_2}{E_1 - E_2}}{a_2 - a_1}, \qquad (12)$$

სადაც C_2 საძიებელი იონების კონცენტრაციაა უფრო კონცენტრირებულ (მეორე) საკალიბრებელ ხსნარში,

$\frac{E_1 - E_2}{a_2 - a_1} = S$ — ელექტროდული მახასიათებლის დახრილობა.

მაგალითი: ქლორიდ-იონების 35,5 მგ/ლ კონცენტრაციის პირველ საკალიბრებელ ხსნარში (a_1 =3,02 pCl) და 355 მგ/ლ კონცენტრაციის მეორე საკალიბრებელ ხსნარში (a_2 =2,04 pCl) ემ ძალების გაზომვის შედეგად მიღებულია ჩვენებები E_1=200 მვ და E_2=144 მვ შესაბამისად.

დავუშვათ საანალიზებელ ხსნარში ელექტროდული წყვილის ემ ძალის მნიშვნელობა E_X=170 მვ.

საანალიზებელ სინჯში ქლორიდ-იონების კონცენტრაცია იქნება:

$$C_{Cl^-} = 355 \cdot \text{ant lg}\frac{170-144}{\frac{200-144}{2,04-3,02}} = 355 \cdot \text{ant lg}\frac{170-144}{-57,15} = 355 \cdot \text{ant lg}(-0,4549);$$

მაშინ

$$\lg C_{Cl^-} = \lg 355 - 0,4549 \cdot \lg 10 = 2,5502 - 0,4549 = 2,0943,$$

$$C_{Cl^-} = 124,3 \text{ მგ/ლ}.$$

სოფლის მეურნეობის პროდუქციის ხარისხის ექსპერტიზის დროს ხშირად აუცილებელი ხდება მასში ნიტრატების მასობრივი წილის განსაზღვრა. იონომეტრების გამოყენებისას სინჯს ამ შემთხვევაში ამზადებენ სუსპენზიის სახით შემდეგნაირად.

ანალიზისათვის განკუთვნილ სინჯებს აწვრილმანებენ სახეხელას საშუალებით, მწვანე კულტურებს კი ჭრიან დანით ან მაკრატლით 0,5-1 სმ ზომის ნაჭრებად.

დაწვრილმანებული მასალის 10 გ-ს წონიან 0,1 გ-ის სიზუსტით, ათავსებენ ქიმიურ ჭიქაში, უმატებენ კალიუმ-ალუმინის 1% -იანი შაბის 50 სმ³ და ურევენ 2-3 წუთის განმავლობაში სარეველათი ან ხელით.

მიღებულ სუსპენზიაში იონომეტრის საშუალებით განსაზღვრავენ ნიტრატ-იონების აქტიურობას pNO_3. საანალიზო სუსპენზიაში pNO_3 -ის მნიშვნელობათა გადაყვანისათვის მასობრივ წილში გამოიყენება შემდეგი ფორმულა:

$$C_{NO_3^-} = \left[50 + \frac{W}{10}\right] \cdot 10^{-pNO_3} \cdot 6200, \quad (13)$$

სადაც $C_{NO_3^-}$ პროდუქტში ნიტრატების მასობრივი წილია, მგ/კგ;

W - სინჯში წყლის მასობრივი წილი, %;

10^{-pNO_3} - ნიტრატების კონცენტრაცია გამონახსნარში, მოლი/ლ;

pNO_3 - იონომეტრის ჩვენება.

მაგალითი: წყლის 90 %-ის შემცველ პროდუქტში pNO_3 - ის გაზომილი მნიშვნელობა 2,80-ის ტოლია. მაშინ (13) ფორმულის თანახმად გვექნება

$$C_{NO_3^-} = \left[50 + \frac{90}{10}\right] \cdot 10^{-2,8} \cdot 6200;$$

$$C_{NO_3^-} = 365800 \cdot 10^{-2,8};$$

$$\lg C_{NO_3^-} = \lg 365800 - 2,8 \cdot \lg 10 = 5,5633 - 2,8 = 2,7633.$$

ანტილოგარითმების ცხრილის მიხედვით განისაზღვრება საძიებელი მნიშვნელობა

$$C_{NO_3^-} = 579,8 \text{ მგ/კგ}.$$

პოტენციომეტრული ტიტვრა

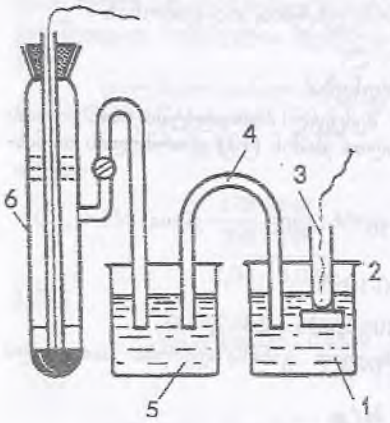
ამა თუ იმ იონის ტიტვრისას მისი კონცენტრაციის შეცვლას შეესაბამება სატიტრ ხსნარში მოთავსებული ელექტროდის პოტენციალის შეცვლა. ეკვივალენტურობის წერტილის მახლობლად ადგილი აქვს პოტენციალის ნახტომს, რაც საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოოთ ტიტვრა პოტენციომეტრის საშუალებით. ელექტროდი აქ ინდიკატორად გვევლინება და მას ინდიკატორულ ელექტროდს უწოდებენ, ხოლო თვით ტიტვრის მეთოდს — ტიტვრის პოტენციომეტრული მეთოდი.

პოტენციომეტრული ტიტვრა გამოიყენება მოცულობითი ანალიზის დროს განსაზღვრისათვის და წარმოებს ნეიტრალიზაციის, ჟანგვა-აღდგენის ან დალექვის მეთოდებით.

ა) მჟავებისა და ტუტეების ტიტვრის მეთოდები. არსებობს მჟავებისა და ტუტეების პოტენციომეტრული ტიტვრის ორი ძირითადი მეთოდი — ტიტვრა წყალბადის

ელექტროდით (ნებისმიერი ძალის მჟავისა და ტუტის ტიტვრისას) და ტიტვრა ქინჰიდრონის ელექტროდით (მხოლოდ ძლიერი და სუსტი მჟავების და, მხოლოდ ცალკეულ შემთხვევებში, სუსტი ფუძეების ტიტვრისას).

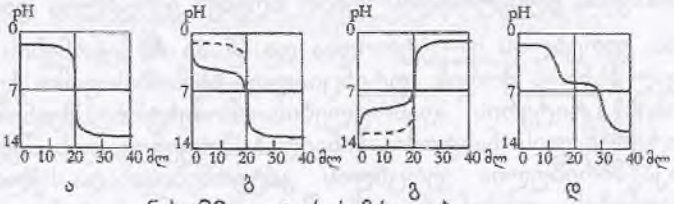
განვიხილოთ პირველი მათგანი (ნახ.91). საკვლევ ხსნარს 1ათავსებენ ტიტვრისათვის განკუთვნილ ჭურჭელში (მაგალითად, დაბალ ჭიქაში) 2 და მის ზევით ამაგრებენ ბიურეტს მუშა ხსნარით. ჭურჭელში სატიტრი ხსნარით ათავსებენ ელექტროდს 3 და ელექტროლიტური ხიდის 4 ცალ მხარს. მისი მეორე მხარი შეერთებულია *KCl* -ის საშუალედო ხსნარით კალომელის ელექტროდთან 6. ზოგჯერ ტიტვრისათვის განკუთვნილ ჭურჭელს თან ახლავს სარეველი, რომლის მაგივრადაც ბევრ შემთხვევაში შეგვიძლია მოსარევად გამოვიყენოთ მინის წკირი.



ნახ.91

სატიტრი ხსნარის პოტენციალის განსაზღვრის შემდეგ იწყებენ ტიტვრას. ამ მიზნისათვის ბიურეტიდან სატიტრ ხსნარში ჩამოუშვებენ მუშა ხსნარის განსაზღვრულ რაოდენობას (0,5···2.0 მლ). დამატების შემდეგ ურევენ 2···3 წუთის განმავლობაში და იღებენ პოტენციალთა სხვაობის (ან pH-ის) ანათვალს. ამ პროცედურას იმეორებენ. ეკვივალენტურობის წერტილის მახლობლობაში მუშა ხსნარს ამატებენ უფრო მცირე პორციებით (0,1···0,05 მლ). მიღებული მონაცემების დატანა ხდება საკოორდინატო ღერძებზე: აბსცისაზე—მუშა ხსნარის მილილიტრები, ორდინატაზე—pH ან პოტენციალი. 92-ე ნახაზზე მოცემულია

ტიტვრის მრუდები: ძლიერი მჟავის ძლიერი ტუტით (ნახ.92,ა), სუსტი მჟავისა ძლიერი ტუტით (ნახ.92,ბ), სუსტი ტუტისა ძლიერი მჟავით (ნახ.92,გ) ნეიტრალიზაციის რეაქციების მიხედვით და სხვადასხვა ძალის მჟავების ნარევის (ნახ.92,დ) ნეიტრალიზაციის რეაქციების მიხედვით.



ნახ. 92. ტიტვრის მრუდები

მრუდების გადაღუნვის წერტილი (ნახ.92,ა,ბ,გ) ემთხვევა ეკვივალენტურობის წერტილს. მრუდის გადაღუნვა განსაკუთრებით მკვეთრად შეინიშნება ძლიერი მჟავის ძლიერი ფუძით ტიტვრისას. გაცილებით ნაკლებად ცხადადაა ის გამოსახული სუსტი მჟავის და სუსტი ფუძის ტიტვრისას. ძლიერი და სუსტი მჟავის ნარევის ტიტვრისას ჯერ იტიტრება ძლიერი მჟავა, შემდეგ სუსტი; მრუდს (ნახ.92,გ) აქვს რამდენიმე გადაღუნვა დისოციაციის ხარისხის შესატყვისად.

ბ) მჟანგავებისა და აღმდგენების ტიტვრა. ჟანგვა-აღდგენითი ტიტვრის პოტენციომეტრული მეთოდები დაფუძნებულია ლითონის (Pt) ელექტროდის პოტენციალის ნახტომზე, რომელიც წარმოიშობა აღმდგენის შეცვლისას მჟანგავით. აღმდგენის კონცენტრაციის შეცვლა მისი ტიტვრისას მჟანგავით (ან პირიქით) გამოისახება მრუდით, რომელიც ნეიტრალიზაციის რეაქციით ტიტვრის მრუდის ანალოგიურია. პოტენციომეტრული ჟანგვა-აღდგენითი ტიტვრის მეთოდით შეგვიძლია განვსაზღვროთ მანგანუმი, ურანი, რკინა, ტიტანი, ვანადიუმი, ბისმუთი, სპილენძი, სტიბიუმი და კალა. მჟანგავი სითხეების სახით იყენებენ $KCLO_3$, $KMnO_4$, $KBrO_3$, KIO_3 ხსნარებს, ხოლო აღმდგენი ხსნარების სახით - $TiCL_3$ და KI.

გ) დასალექი იონების ტიტვრა. დალექვის მეთოდის მაგალითების სახით შეგვიძლია აღვნიშნოთ $AgNO_3$ ხსნარით ჰალოიდ-იონების (Cl^-, Br^-, I^-) ტიტვრის შემთხვევები ცალცალკე ან ნარევში. ამ შემთხვევებში საკვლევ ხსნარში ჩასაშვები ელექტროდის სახით იღებენ ვერცხლის ფირფიტას. ვერცხლის ელექტროდსა და Cl^- ან Ag^+ იონების შემცველ ხსნარს შორის პოტენციალთა სხვაობის გამო ქლორიონის ტიტვრის დასრულების მომენტში შეინიშნება პოტენციალის ნახტომი, ვინაიდან პოტენციალის შეცვლა დაკავშირებულია ვერცხლის კატიონებისა და ქლორის ანიონების კონცენტრაციის შეცვლასთან. პოტენციომეტრული ტიტვრა დალექვის რეაქციების მიხედვით გამოიყენება თუთიის, სპილენძის, კობალტის, ნიკელის, კადმიუმისა და სხვათა განსაზღვრისათვის.

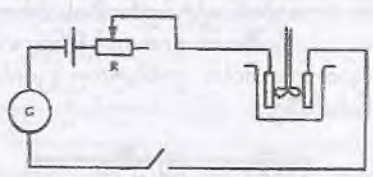
პოტენციომეტრული ტიტვრისას ტიტვრის მრუდის გამოხაზვა არაა აუცილებელი. საკმარისია, მუშა ხსნარის დამატებისას თანაბრად ერთნაირი პორციებით, შევარჩიოთ მომენტი, როდესაც ელექტრომეტრი (გალვანომეტრი) გვიჩვენებს პოტენციალთა სხვაობის თანდათანობითი ცვლილებისას მკვეთრ ნახტომს (ეს ნახტომი მერყეობს 150—დან 800 მვ-მდე).

პოტენციომეტრის საშუალებით ნახტომზე ტიტვრის აღნიშნული მეთოდების გარდა გამოიყენება პოტენციომეტრული ტიტვრის სხვა უფრო მარტივი ხერხები: მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ბიმეტალური წყვილის გამოყენებაზე; დიფუზური ტიტვრის მეთოდი; დენის სრული შეწყვეტის მიხედვით ტიტვრის საბოლოო წერტილის განსაზღვრის მეთოდი და სხვ. გავჩერდეთ პირველ მათგანზე.

სატიტრ ხსნარში ათავსებენ ლითონის ორ სხვადასხვა ელექტროდს, მაგალითად, პლატინისაგან და ვოლფრამისაგან. ელექტროდების ასეთი ბიმეტალური წყვილი გვიჩვენებს პოტენციალთა მეტ ან ნაკლებ სხვაობას გარემოს ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალის მიხედვით. ამ შემთხვევაში საკმარისია ჩავრთოთ წრედში მხოლოდ ერთი გალვანომეტრი დამატებითი წინაღობით; ამრიგად, აღარაა საჭირო დამატებითი კალომელის ელექტროდი, ნორმალური ელემენტი და პოტენციომეტრი. აბ ძარტივი სქემის მიხედვით უწყვეტი ათვლით ტიტვრის დასრულების მაჩვენებელს წარმოადგენს გალვანომეტრის ისრის მაქსიმალური გადახრა მუშა ხსნარის წვეთის დამატებისას.

არაკომპენსაციური პოტენციომეტრული ტიტვრის ასეთი ხელსაწყოს სქემა მოცემულია 93-ე ნახაზზე.

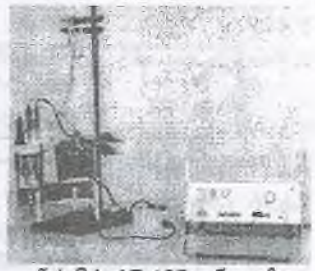
ჭურჭელში სატიტრი ხსნარით ჩაშვებულია ორი ელექტროდი— პლატინის და ვოლფრამის . ხსნარის არევა ხდება სარეველით . ტიტრანტის მიწოდება სატიტრ ხსნარში წარმოებს ბიურეტიდან. წრედში ელექტროდების, R წინაღობის



ნახ.93.პოტენციომეტრული ტიტვრის სქემა უწყვეტი ათვლით

(25...50000 ომის რიგისა), G გალვანომეტრის გარდა ჩართულია კიდევ გალვანური ელემენტი. ტიტვრის დაწყებისას უნდა ჩავრთოთ გასაღები , R წინაღობა დავაყენოთ ისეთნაირად, რომ გალვანომეტრის ისარი დადგეს სკალის შუაში, ხოლო შემდეგ განვახორციელოთ ტიტვრა ისრის მკვეთრ ნახტომამდე. ტიტვრის დროს უნდა ჩავიწეროთ გალვანომეტრის ჩვენება მუშა ხსნარის დამატებული მოცულობის მიხედვით და გამოვხაზოთ მრუდი.

პოტენციომეტრული ტიტვრისათვის ამჟამად იყენებენ ნებისმიერ სერიულ pH-მეტრ-მილივოლტმეტრს ან იონომეტრ-მილივოლტმეტრს, მაგრამ ამ მიზნებისათვის არსებობს სპეციალურად დამუშავებული ხელსაწყოებიც.



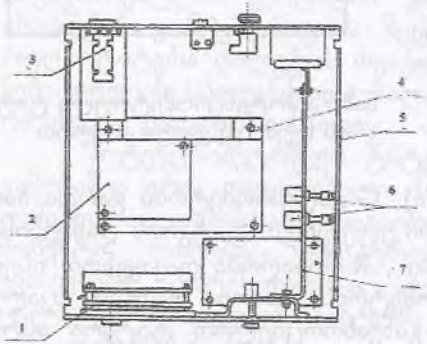
ნახ.94. АП-105 ანალიზატორის საერთო ხედი

განვიხილოთ ერთ-ერთი მათგანი — პოტენციომეტრული ანალიზატორი АП-105 (ნახ.94). ამ ხელსაწყოს კომპლექტი შედგება ელექტროდული სისტემისაგან, შესავლის კომუტაციის ბლოკისაგან, საზომი გარდამ-

ქმნელისაგან და პოტენციომეტრული ტიტვრის ჩასატარებლად აუცილებელი მოწყობილობისაგან.

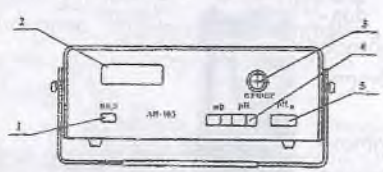
ელექტროდული სისტემა შედგება საზომი (იონსელექტიური) ელექტროდისა და შედარების ელექტროდისაგან. ეს ელექტროდები უნდა ჩავდიროთ გამოსაკვლევ ხსნარში, რის შედეგადაც გაიმოქმედება ხსნარში გასაზომი იონების აქტიურობის პროპორციული ემ ძალა.

საზომი გარდამქმნელის საერთო ხედი მოხსნილი ხუფით და მისი კონსტრუქციის ელემენტები ნაჩვენებია 95-ე ნახაზზე.



ნახ.95. გარდამქმნელი მოხსნილი ხუფით: 1-ანალოგურ - ციფრული გარდაქმნის ბლოკი ინდიკაციით; 2 - მაძლიერებელი; 3 - საზომი ელექტროდის ბუდე; 4 - გარდამქმნელი; 5-შასი; 6-აწყობის პოტენციომეტრები; 7-რეჟიმების გადამრთველი

კონსტრუქციულად გარდამქმნელი შედგება П -სებრი შასისა და სახელურიანი ხუფისაგან ხელსაწყოს გადასატანად. შასიზე დამაგრებულია გარდამქმნელის ელექტრული სქემის შემადგენელი ფუნქციონალური ბლოკები და ცალკეული ელემენტები.



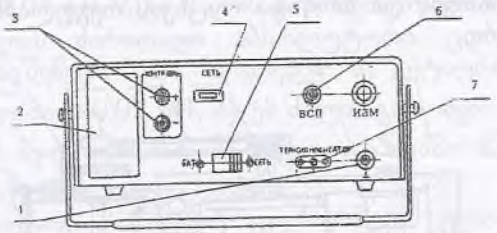
ნახ.96. გარდამქმნელის წინა პანელი: 1-ჩართვის ღილაკი; 2-ციფრული ტაბლო; 3 -პოტენციომეტრი << БУФЕР>>; 4 - გაზომვის რეჟიმების გადამრთველი; 5 -ღილაკი << $pH_и$>>

გარდამქმნელის წინა პანელზე (ნახ.96) გამოტანილია ოპერატიული აწყობის პოტენციომეტრი << БУФЕР>>, გარდამქმნელის ჩართვისა და გაზომვის რეჟიმების არჩევის ღილაკები, აგრეთვე ღილაკი << $pH_и$>> .

პოტენციომეტრით <<БУФЕР>> ვაყენებთ ელექტროდული სისტემის იზოპოტენციალური წერტილის შესაბამის Eი კოორდინატს. მეორე pHი კოორდინატის დაყენება ხდება გარდამქმნელის გვერდით პანელზე განლაგებული << $pH_и$ >> პოტენციომეტრით. << $pH_и$ >> ღილაკზე დაჭერისას ციფრულ ტაბლოზე გამოჩნდება pH კოორდინატის მნიშვნელობა. აქვე განლაგებულია <<S>> პოტენციომეტრი, რომლითაც ვაყენებთ გრადიენტის (დახრილობის) მნიშვნელობას.

გარდამქმნელის ციფრულ ტაბლოს აქვს ოთხი ათობითი თანრიგი pH -ისა და მილივოლტების ინდიკაციისათვის. გადამეტტვირთვის შემთხვევაში სამი უმცროსი თანრიგი ქრება.

ხელსაწყოს უკანა პანელზე (ნახ.97) განლაგებულია



ნახ.97. გარდამქმნელის უკანა პანელი:1-დამიწების კლემა; 2-კვების ბატარეების ნაკვეთურის ხუფი; 3-კვების კონტროლის ღილაკები; 4-კვების გამოსატანი ბლოკის მისაერთებელი გასართი; 5-კვების გადამრთველი; 6-ბუდე ელექტროდების მისაერთებლად; 7-როზეტი თერმოკომპენსატორის მისაერთებლად

კონტროლის, მართვის ორგანოები, ბუდეები და გასართი გარე შეერთებებისათვის:

<<КОНТРОЛЬ>> -კვების ძაბვის კონტროლის ორი ღილაკი (<<+>> , <<->>) ბატარეების განმუხტვის ვიზუალური კონტროლისათვის ტაბლოს საშუალებით;

<<СЕТЬ>> - გარე კვების მისაერთებელი გასართი;

<<БАТ-СЕТЬ>> -კვების სახეობის გადამრთველი;

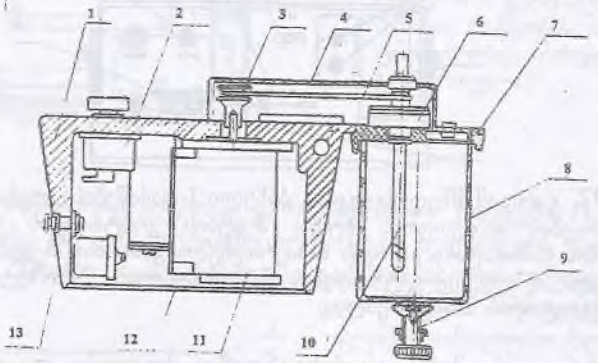
<<ТЕРМОКОМПЕНСАТОР>> -ავტომატური თერმოკომპენსატორის მისაერთებელი გასართი;

<<ИМЗ.>> -შესავლის კომუტაციის ბლოკის ან საზომი ელექტროდის მისაერთებელი ბუდე;

<<ВСП.>> -დამხმარე ელექტროდის მისაერთებელი ბუდე;

<<⊥>> -დამიწების კლემა.

მოწყობილობა ტიტვრის ჩასატარებლად (ნახ.98) წარმოადგენს კვანძს, რომელიც შედგება ფირფიტისაგან მასზე დამაგრებული ელექტროძრავით და ხუფიანი ჭიქისაგან ტიტვრისათვის. ხუფს აქვს ნახვრეტები ელექტროდების, თერმომეტრის, ავტომატური თერმოკომპენსატორის და სატიტრი ხსნარის შემყვანი კაპილარის დასამაგრებლად. ფირფიტას აქვს ნახვრეტი და საბჯენი ხრახნები იმ ღეროს დასამაგრებლად, რომლითაც მოწყობილობას ვაერთებთ შტატივზე განლაგებულ დამჭერთან. ფირფიტაზე გვაქვს აგრეთვე სარევის ამძრავი, ტუმბლერი ძრავას ჩართვისათვის და ბრუნთა რიცხვის რეგულირების პოტენციომეტრი.



ნახ.98. მოწყობილობა ტიტვრის ჩასატარებლად:
1-ფირფიტა; 2-პოტენციომეტრი; 3-შკივი; 4-ხუფი; 5-მოქნილი კავშირი; 6-საკისარი; 7-ჭიქის ხუფი; 8-ჭიქა; 9-მომჭერი; 10-ფრთა; 11-ელექტროძრავა; 12-გარსაცმი; 13-საჭერი დამცველით

პოტენციომეტრული ტიტვრის ჩატარებისას ტიტრანტის ხელით დოზირებისათვის გამოიყენება გადასაწელი სარქველი ღილაკით. მასზე დაჭერისას კაპილარი იხსნება და სატიტრი ხსნარი ბიურეტიდან გადადის ტიტვრისათვის

განკუთვნილ ჭიქაში. ღილაკის მოშვებისას კაპილარი იხურება. ტიტრანტის მიწოდების რეგულირება ხდება სარქველის კორპუსში მოთავსებული ხრახნით.

АП-105 ხელსაწყოს სქემა ანალოგიურია **ЭВ-74** იონომეტრის სქემისა, მაგრამ მისგან განსხვავებით აქვს ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი საზომი სქემის ნორმირებული სიგნალის გარდასაქმნელად ციფრულ ეკვივალენტში. ამ ციფრული ეკვივალენტის იდენტიფიკაცია ხდება თხევადკრისტალურ ინდიკატორიან ციფრულ ტაბლოზე.

АП-105 პოტენციომეტრული ანალიზატორის გარდამქმნელის გაზომვის დიაპაზონია: ა) აქტიურობის გაზომვის რეჟიმში 0-დან 14 pH-მდე ბ)ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში - მინუს 1999 -დან +1999-მდე; უმცროსი თანრიგის ერთეულის ფასია (დისკრეტულობა): ა) აქტიურობის გაზომვის რეჟიმში — 0,01 pH, ბ)ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში — 1 მვ; გარდამქმნელის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების დასაშვებ მნიშვნელობათა ზღვრებია: ა) აქტიურობის გაზომვის რეჟიმში ±0,02 pH, ბ) ემ ძალის გაზომვის რეჟიმში მინუს 1400 მვ-დან +1400 მვ-მდე დიაპაზონში ±2 მვ, ხოლო ამ დიაპაზონის გარეთ — ±4 მვ.

ხელსაწყოს მომზადება გულისხმობს კვების სახეობისა და საზომი ელექტროდების შერჩევას. თუ ვაპირებთ ხელსაწყოს კვებას ქსელიდან, მაშინ გარდამქმნელის უკანა პანელზე მოთავსებული გადამრთველი <<БАТ-СЕТЬ>> უნდა დავაყენოთ მდგომარეობაში <<СЕТЬ>>.

ავტონომიური კვებისას ქსელიდან კვების ბლოკი არ გამოიყენება. კვების სახეობის გადამრთველი ამ შემთხვევაში უნდა იმყოფებოდეს მდგომარეობაში <<БАТ>>. სამუშაოს დაწყებამდე უნდა დავრწმუნდეთ ბატარეების წესივრულობაში. ამისათვის ჯერ უნდა დავაჭიროთ ღილაკს <<КОНТРОЛЬ>> <<+>> , ხოლო შემდეგ — ღილაკს <<КОНТРОЛЬ>> <<->> . პირველ შემთხვევაში ტაბლოზე უნდა გაჩნდეს +12-დან +6 ვ-მდე ჩვენება, ხოლო მეორეში —მინუს 12-დან მინუს 6 ვ-მდე. თუ ჩვენებები არ არის ამ ფარგლებში, კვების ბატარეები უნდა გამოიცვალოს. გარდამქმნელის გახურების დროა 5 წუთი.

საზომი ელექტროდი უნდა მივუერთოთ ელექტროდების შესავლის კომუტაციის ბლოკის ბუდეებს <<pH>>, <<mV>>, ხოლო თვით ეს ბლოკი უნდა მივუერთოთ გარდამქმნელის უკანა პანელზე განლაგებულ ბუდეს <<ИЗМ.>> . შედარების ელექტროდის სახით ვიყენებთ **ЭВЛ-1М3** ელექტროდს, რომელსაც ვუერთებთ გარდამქმნელის უკანა პანელზე განლაგებულ ბუდეს <<ВСП.>>. ავტომატური თერმოკომპენსატორი უნდა მივუერთოთ გასართს <<ТЕРМОКОМПЕНСАТОР>> .

გარდამქმნელის აწყობა და გრადუირების შემოწმება. გარდამქმნელის აწყობა და გრადუირების შემოწმება დასაშვებია ხელსაწყოს ხუთწუთიანი გახურების შემდეგ, როდესაც ქსელის ძაბვა (220±4,4) ვოლტის ფარგლებშია. საზომი და დამხმარე ელექტროდების წრედებში წინაღობა უნდა იყოს $R_{საზ.}=0$ და $R_{დამ.}=0$.

გარდამქმნელის *აწყობა* ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

- თერმოკომპენსატორის როზეტს უნდა მივუერთოთ წინაღობათა მაღაზია, რომელზეც ვაყენებთ 1400 ომის ტოლ წინაღობას (ეს წინაღობა შეესაბამება ავტომატური თერმოკომპენსატორის წინაღობას 20 °C-ის დროს);
- ჩავრთოთ გარდამქმნელი ქსელზე <<ВКЛ.>> დაჭერით და გავახუროთ ის ხუთი წუთის განმავლობაში;
- დავაჭიროთ ღილაკს <<$pH_и$>> და პოტენციომეტრით <<$pH_и$>> გარდამქმნელის მარჯვენა გვერდზე დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება <<7.00>> ;
- მოვუშვათ ღილაკი <<$pH_и$>>, იმიტატორიდან მივაწოდოთ ხელსაწყოს შესავალს ნულოვანი ძაბვა და სახელურით <<БУФЕР>> დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება <<7.00>> ;
- მივაწოდოთ გარდამქმნელის შესავალს 14 pH-ის შესაბამისი ძაბვა 20°C-ის დროს — მინუს 407,2 მვ;
- პოტენციომეტრით <<S>> დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენება <<14.00>> .

გარდამქმნელის *გრადუირების შემოწმებას* pH-ის გაზომვის რეჟიმში 20°C-ის დროს ვაწარმოებთ pH-ის ყოველი ერთეულის შემდეგ, ე.ი. წერტილებში 0,1,2,3,...,14 pH. ამისათვის იმიტატორიდან ხელსაწყოს შესავალს უნდა მივაწოდოთ ამ წერტილების შესაბამისი ძაბვები (ცხრილი 4). გაზომვის ცდომილება $\Delta pH=pH_გ-pH_ვ$ არ უნდა აღემატებოდეს ±0,05 pH-ს.

გარდამქმნელის გრადუირების შემოწმებას მილივოლტების გაზომვის რეჟიმში ვაწარმოებთ წერტილებში: -1900, -1500, -1000, -500,0,100,500,1000,1500,1800,1810, 1820,1850,1890,1891,1892,1895,1900 მვ. იმიტატორიდან მიწოდებული და ტაბლოდან ათვლილი გაზომილი მნიშვნელობების სხვაობა $\Delta E=E_გ-E_ვ$ არ უნდა აღემატებოდეს ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარს.

ხელსაწყოს აწყობა pH-ის ბუფერული ხსნარების მიხედვით. გარდამქმნელის აწყობისა და გრადუირების შემოწმების შემდეგ უნდა განვახორციელოთ ხელსაწყოს აწყობა ელექტროდებთან კომპლექტში საკონტროლო ხსნარების მიხედვით. pH-ის გაზომვისას მინის pH-ელექტროდის გამოყენებთ საკონტროლო ხსნარების სახით გამოიყენება სტანდარტული ბუფერული ხსნარები.

ელექტროდებისა და ავტომატური თერმოკომპენსატორის ხსნარში ჩაძირვამდე ისინი უნდა გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით და მოვაცილოთ წყლის ნარჩენები საფილტრავი ქაღალდით.

კომპლექტის აწყობა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

- ჩავძიროთ ელექტროდები და თერმოკომპენსატორი პირველ ბუფერულ ხსნარში მნიშვნელობით pH=6,88 (pH-ის მნიშვნელობა მოცემულია ხსნარის 20°C ტემპერატურისათვის);
- დავაჭიროთ ღილაკს <<pH>> ;
- ჩვენებათა დამყარების შემდეგ დავაჭიროთ ღილაკს <<$pH_и$>> და ხელსაწყოს ტაბლოზე პოტენციომეტრით <<$pH_и$>> დავაყენოთ მოცემული ტემპერატურის პირობებში პირველი ბუფერული ხსნარის pH-ის მნიშვნელობა;

• მოვუშვათ ღილაკი <<pH$_{И}$>> და სახელურით <<БУФЕР>> დავაყენოთ ტაბლოზე ჩვენების წინა მნიშვნელობა;

• გამორეცხვის და წყლის ნარჩენების მოცილების შემდეგ ელექტროდები ჩავძიროთ მეორე ბუფერულ ხსნარში pH=4,00 ან pH=9,22 მნიშვნელობით. შერჩევა დამოკიდებულია pH-ის გაზომვის მოსალოდნელ ზონაზე;

• ჩვენებათა დამყარების შემდეგ პოტენციომეტრით <<S>> დავაყენოთ ტაბლოზე მეორე ბუფერული ხსნარის pH-ის მნიშვნელობა მოცემული ტემპერატურის დროს;

• დავაჭიროთ ღილაკს <<pH$_{И}$>> და დავაყენოთ <<pH$_{И}$>> პოტენციომეტრით მნიშვნელობა <<7.00>> (გამოყენებული ელექტროდული სისტემის pH$_{И}$ მნიშვნელობა);

• მოვუშვათ ღილაკი<<pH$_{И}$>> და ჩვენებათა დამყარების შემდეგ სახელურით <<БУФЕР>> დავაყენოთ ტაბლოზე მეორე ბუფერული ხსნარის pH-ის მნიშვნელობა;

• ხელსაწყოს კომპლექტის აწყობის სისწორის შემოწმებისათვის კვლავ უნდა დავუბრუნდეთ პირველ ბუფერულ ხსნარს და საჭიროების შემთხვევაში გავიმეოროთ ზემოთ ჩამოთვლილი ოპერაციები.

შემდეგ უნდა განვსაზღვროთ გაზომვის ცდომილება pH=1,68 და pH=4,00 ბუფერული ხსნარების მიხედვით.

პოტენციომეტრული ტიტვრა АП-105 ანალიზატორის გამოყენებით. ტიტვრა შესაძლებელია pH-ზე და ჟანგვა-აღდგენით პოტენციალზე კონცენტრაციის დამოკიდებულების გამოყენებით.

რომელიმე იონების ტიტვრისას ინდიკატორის სახით შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი ელექტროდი, რომელიც რეაგირებს ხსნარში ამ იონების კონცენტრაციის ცვალებადობაზე.

pH-ის განსაზღვრულ მნიშვნელობამდე ტიტვრისას მინის pH-ელექტროდისა და შედარების ელექტროდის გამოყენებით АП-105 კომპლექტის აწყობა ხდება ზემოთ თქმულის შესაბამისად.

შესაბამისი იონსელექტიური ელექტროდების გამოყენებით ტიტვრას ახორციელებენ ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალის გარკვეულ მნიშვნელობამდე.

მაგალითის სახით განვიხილოთ წყლის დროებითი სიხისტის[1] განსაზღვრა pH-ის განსაზღვრულ მნიშვნელობამდე პოტენციომეტრული ტიტვრის მეთოდით.

ანალიზის მსვლელობა:

ტიტვრისათვის განკუთვნილ ჭიქაში ჩავასხათ 40 მლ საანალიზო წყალი, ჩავძიროთ მასში pH-ელექტროდი, შედარების ელექტროდი და ავტომატური თერმოკომპენსატორი.

50 მლ ტევადობის ბიურეტი გავავსოთ *HCl*-ის 0,1ნ ხსნარით.

ჩავრთოთ ხელსაწყო, ჩავიწეროთ ჭიქაში მოთავსებული წყლის pH-ის ჩვენება და გადასაწელი სარქველით ტიტრანტის მცირე დოზების (0,5...1 მლ) დამატებით დავიწყოთ ტიტვრა. ტიტრანტის ყოველი პორციის დამატების შემდეგ სითხე ჭიქაში საგულდაგულოდ ავურიოთ;ავითვალოთ ტიტრანტის ხარჯი ბიურეტის მიხედვით და pH-ის მნიშვნელობა ხელსაწყოს ტაბლოს მიხედვით. მიღებული მონაცემები ჩავიწეროთ.

როდესაც pH მიაღწევს 4,5-ს, ტიტრანტის დამატებული პორციის მოცულობა შევამციროთ 0,1 მლ-მდე, ხოლო როდესაც pH-ის მნიშვნელობა გაუტოლდება 3,7...3,8 ტიტვრას ვწყვეტთ და ვთვლით, რომ ეკვივალენტური წერტილი მიღწეულია, ხოლო წყალი გატიტრულია.

წყლის დროებითი სიხისტე განისაზღვრება ფორმულით:

$$K = V_2 \cdot 0{,}1 \frac{1000}{V_1} \text{ მგ-ეკვ/ლ},$$

სადაც V_1 ანალიზისათვის აღებული წყლის მოცულობაა , მლ;

[1] დროებითი სიხისტის ქვეშ იგულისხმება წყლის სიხისტის ის ნაწილი, რომელიც გაპირობებულია წყალში კალციუმისა და მაგნიუმის ბიკარბონატებისა და კარბონატების არსებობით. დროებითი სიხისტე ადუღების შეედეგად ქრება.

V_2 —ტიტვრაზე დახარჯული მჟავას მოცულობა, მლ;
0,1·1000—ქლორწყალბადმჟავას კონცენტრაცია მგ-ეკვ/ლ.

2.2.1.2. ანალიზის პოლაროგრაფიული მეთოდი

ანალიზის პოლაროგრაფიული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოოთ ნივთიერების თვისებითი და რაოდენობითი განსაზღვრა საანალიზო ხსნარის ელექტროლიზით ვერცხლისწყლიანი წვეთოვანი ელექტროდით და ელექტროლიზის დროს მიღებული ე.წ. ვოლტ-ამპერული მრუდის შემდგომი გაშიფვრით. ეს მრუდი გვიჩვენებს დენის ძალის ცვლილებას ელექტროლიზის პროცესში მოდებული ძაბვის ცვლილების შესაბამისად.

პოლაროგრაფიულ მეთოდს საფუძვლად უდევს შემდეგი დებულებები:

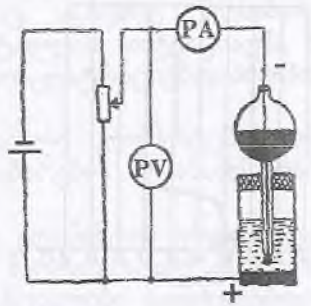
ა) სხვადასხვა იონების ელექტროაღდგენისათვის უნდა მოვდოთ სხვადასხვა ძაბვები, ვინაიდან ყოველ იონს აქვს განსაზღვრული, მისთვის დამახასიათებელი აღდგენის პოტენციალი. მაშასადამე იონის აღდგენის პოტენციალი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მისი *თვისებითი* განსაზღვრისათვის;

ბ) თუ ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდებზე მივაწვდით თანდათანობით მზარდ ძაბვას, დენის ძალა მკვეთრად გაიზრდება იმ მომენტში, როდესაც მიიღწევა ხსნარში მყოფი სათანადო იონის აღდგენის პოტენციალი. ზოგიერთ პირობებში დენის ძალის ზრდა აღსადგენი იონის კონცენტრაციის პროპორციულია. ასეთ შემთხვევაში დენის ძალის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს იონის *რაოდენობითი* განსაზღვრისათვის.

პოლაროგრაფიული ანალიზის შესრულება მდგომარეობს შემდეგში: სათანადოდ მომზადებულ საანალიზო ხსნარს ათავსებენ ელექტროლიზერში ვერცხლისწყლის ელექტროდებით. ანოდის ფუნქციას ასრულებს ვერცხლის-

წყლის დიდი უძრავი ზედაპირი, კათოდისას—ვიწრო კაპილარიდან გამოდენილი ვერცხლისწყლის წვეთები (ნახ.99).

წვეთოვანი ელექტროდი გამოიყენება იმისათვის, რომ გამუდმებით განახლდეს კათოდის ზედაპირი, რომელიც თანდათანობით იფარება აღდგენის პროდუქტებით. ამის გამო აღდგენის პოტენციალი დროთა განმავლობაში აღარ იცვლება, რჩება მკაცრად განსაზღვრული ყოველი აღსადგენი იონისათვის.

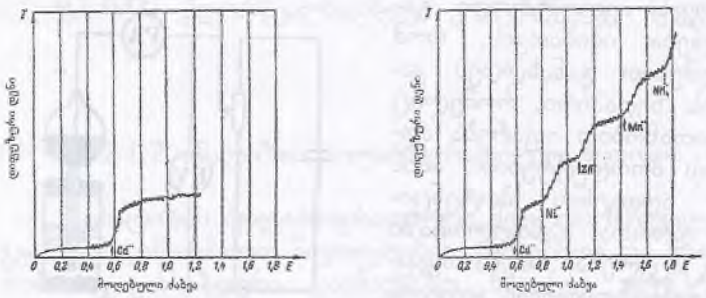


ნახ.99.პოლაროგრაფის პრინციპული სქემა ვერცხლისწყლის წვეთოვანი ელექტროდით

ელექტროდებზე აწვდიან თანდათანობით და უწყვეტად მზარდ ძაბვას. როდესაც მოდებული ძაბვა მიაღწევს ხსნარში მყოფი შესაბამისი იონის აღდგენის პოტენციალს, ვერცხლისწყლის წვეთის ზედაპირზე მყოფი ეს იონი აღდგება. წვეთის ზედაპირთან წარმოებს ხსნარის გაღარიბება განსახილველი იონებით და ამ ნივთიერების იონები ხსნარიდან მივლენ ვერცხლისწყლის წვეთთან. აღდგენილი იონების რაოდენობასა და ვერცხლისწყლის წვეთთან დიფუნდირებულ იონებს შორის დამყარებული წონასწორობის დროს დენი გახდება მუდმივი, დამოკიდებული მხოლოდ ხსნარში იონების კონცენტრაციაზე; ამ დენს დიფუზური დენი ეწოდება.

დენის ძალის ცვლილება 1925 წელს ავტომატურად გადაიღეს ფოტოქაღალდზე გეიროვსკისა და შიკატას მიერ შექმნილი ხელსაწყოთი, რომელსაც შემქმნელებმა პოლაროგრაფი უწოდეს (აქედან განსაზღვრის მეთოდს — პოლაროგრაფიული). დენის ძალის ცვლილების რეგისტრირება შესაძლებელია გალვანომეტრის საშუალებითაც. მოდებულ ძაბვაზე დენის ძალის დამოკიდებულების მრუდი არის ვოლტამპერული მრუდი ან პოლაროგრამა. 100,ა ნახაზზე მოცემულია პოლაროგრამა ხსნარში მხოლოდ ერთი ელემენტის განსაზღვრისათვის, ხოლო 100,ბ ნახაზზე - ერთ

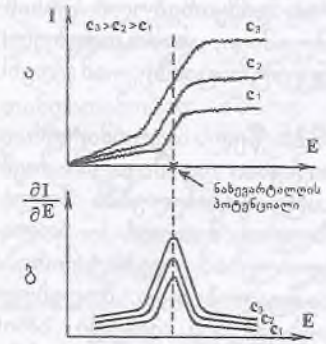
ხსნარში რამდენიმე ელემენტის ერთდროული განსაზღვრისათვის.



ა ბ

ნახ.100. ხსნარების პოლაროგრამები

როგორც ვხედავთ, პოლაროგრამას აქვს საფეხურის ან ტალღის სახე. თითოეული საფეხური შეესაბამება გარკვეულ იონს. ტალღის მდებარეობა აბცისათა ღერძზე (ძაბვის ღერძზე) გვაძლევს განსასაზღვრავი იონების თვისებით მახასიათებელს, ხოლო დიფუზური დენით გაპირობებული ტალღის სიმაღლე (ორდინატა) ხსნარში იონის კონცენტრაციის პროპორციულია და გამოიყენება ამ იონის რაოდენობითი განსაზღვრისათვის. ვინაიდან ვოლტამპერულ მრუდს მკვეთრი ტეხილი არ გააჩნია, აქვს S -სებრი ფორმა ნაღუნებით დასაწყისში და ბოლოში (ნახ.101,ა), აღსადგენი იონის თვისებითი დახასიათებისათვის (იონის აღდგენის პოტენციალის სახით) იღებენ ნახევარტალღის პოტენციალს. პოლაროგრაფიული ტალღის შუა წერტილი (ან ნახევარტალღის პოტენციალი) არ არის დამოკიდებული აღსადგენი ნივთიერების კონცენტრაციაზე.



ნახ.101.სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარების პოლაროგრაფიული მრუდები

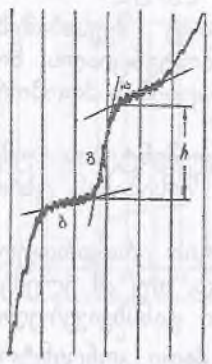
101,ა ნახაზზე ნაჩვენები I=f(E) პოლაროგრაფიული მრუდების დიფერენცირების შედეგად მიღებული $\partial I/\partial E = \varphi(E)$ მრუდების მაქსიმუმებიც აგრეთვე შეესაბამება გამოსაკვლევი იონების ნახევარტალღის პოტენციალს, ხოლო მაქსიმუმების სიმაღლეები კონცენტრაციების პროპორციულია (ნახ.101,ბ).

ნახევარტალღის პოტენციალი ელემენტების უმეტესობისათვის მოცემულია ცნობარების შესაბამის ცხრილებში.

ერთ ხსნარში რამდენიმე ელემენტის ერთდროული განსაზღვრა წარმოებს საკმაოდ მარტივად, თუ ამ ელემენტების ნახევარტალღების პოტენციალები განსხვავებულია არა ნაკლებ 150···200 მვ სიდიდით და მათი კონცენტრაციები დიდად არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ასეთ შემთხვევაში ერთ მრუდზე შეგვიძლია მივიღოთ რამდენიმე კარგად გამოსახული და გასაზომი ტალღა (ნახ.100,ბ). ზოგად შემთხვევაში კი, ვინაიდან 2···2,5 ვ ძაბვების ინტერვალში წარმოებს რამდენიმე ათეული იონის აღდგენა, ზოგიერთი მათგანის ნახევარტალღის პოტენციალები შეიძლება იმდენად ახლოს აღმოჩნდნენ ერთმანეთთან, რომ ამ იონების თანაარსებობისას ხსნარში მათი ტალღები დაემთხვევა. აღდგენის პოტენციალის შეცვლას და პოლაროგრამაზე ცალკეული ტალღის მიღებას შეგვიძლია მივაღწიოთ სათანადო ფონის (სხვადასხვა მარილები, მჟავები, ფუძეები) და მისი საჭირო კონცენტრაციის შერჩევით. ფონი გამორიცხავს აგრეთვე მიგრაციულ დენს, რომელიც იონების კონცენტრაციის უკუპროპორციულია და ამახინჯებს სურათს.

პოლაროგრაფიულ მრუდზე ხშირად ვიღებთ მაქსიმუმს — დიფუზური დენის ანომალიურ ზრდას, რომელიც ხელს უშლის ტალღის სიმაღლის ზუსტ გაზომვას. ამ მოვლენის გამოსარიცხად პოლაროგრაფირებად ხსნარში უმატებენ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების (აგარ-აგარი, ჟელატინი, სადურგლო წებო, მეთილწითელი და სხვ.) განზავებული ხსნარის 1···2 წვეთს, რომელიც ახშობს მაქსიმუმს.

ტალღის სიმაღლე იზომება შემდეგნაირად (ნახ.102): მრუდის ზედა ა და ქვედა ბ ნაწილების ოსცილაციების შუა წერტილებზე ვატარებთ ორ წრფეს და ერთს გ— მრუდის შუა ნაწილზე; შემდეგ ამ სამი წრფის გადაკვეთის წერტილებზე ვატარებთ ორ პარალელურ წრფეს და მათ შორის h მანძილს ვიღებთ ტალღის სიმაღლედ.



ნახ.102

პოლაროგრამაზე, რომელიც მიღებულია ვიზუალური ხელსაწყოთი მილიმეტრულაზე, ტალღის სიმაღლედ იღებენ მანძილს იმ ორ ჰორიზონტალურ ხაზს შორის, რომლებიც გატარებულია ქვედა შტოს მომრგვალების დასაწყისის შესაბამის და ზედა შტოს მომრგვალების დასასრულის შესაბამის წერტილებზე.

საძიებელი ელემენტის რაოდენობითი შემცველობა საანალიზო და სტანდარტული (ე.ი. საძიებელი ელემენტის ცნობილი რაოდენობის შემცველი) ხსნარების პოლაროგრაფირებისას განისაზღვრება მიღებული ტალღების სიმაღლეების შედარების გზით.

საანალიზო და სტანდარტული ხსნარების კონცენტრაციებს შორის დამოკიდებულება გამოისახება განტოლებით:

$$c_x : c_{ст} = h_x : h_{ст} . \qquad (14)$$

პრაქტიკაში რაოდენობით განსაზღვრას აწარმოებენ ან შედარების მეთოდით, ან დამატების მეთოდით. პირველის თანახმად ერთნაირ პირობებში ახორციელებენ საანალიზო ხსნარის განსაზღვრული მოცულობის პოლაროგრაფირებას და ცალკე ასეთივე მოცულობის სტანდარტული ხსნარების პოლაროგრაფირებას. ამ შემთხვევაში საძიებელი გამოითვლება ფორმულით:

$$x = \frac{a \cdot h_x}{h_{ст}} , \qquad (15)$$

სადაც *a* ნივთიერების რაოდენობაა საანალიზო ხსნარში.

თუ გვაინტერესებს საანალიზო ხსნარში განსასაზღვრავი იონების კონცენტრაცია, მაშინ

$$c_x = \frac{c_1 \cdot h_x}{h_{ст}} . \qquad (16)$$

შედარების (სტანდარტის) მეთოდით ხსნარში თუთიის განსაზღვრის მეთოდიკა: 50 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში ათავსებენ 0,5 მგ/მლ კონცენტრაციის თუთიასულფატის ($ZnSO_4$) ხსნარის 10 მლ-ს, ამატებენ ჟელატინის 0,1%-ანი ხსნარის 20 წვეთს და კოლბას ავსებენ ჭედმდე კალიუმქლორიდის (KCl) 1 ნ ხსნარით. მიღებულ ხსნარს საგულდაგულოდ ურევენ. შემდეგ ამ ხსნარის 20...25 მლ გადააქვთ სუფთა ელექტროლიზერში და ხსნარში ატარებენ წყალბადს 15...20 წუთის განმავლობაში. ამის შემდეგ იღებენ პოლაროგრამას, აგებენ გრაფიკს და განსაზღვრავენ ტალღის სიმაღლეს (ვთქვათ, მივიღეთ $h_{ст}$=50 მმ).

50 მლ ტევადობის მეორე საზომ კოლბაში ათავსებენ თუთიასულფატის უცნობი კონცენტრაციის ხსნარს, უმატებენ ჟელატინის 20 წვეთს, კოლბას ავსებენ ჭედმდე კალიუმქლორიდის 1 ნ ხსნარით და საგულდაგულოდ ურევენ. ამ ხსნარის 20...25 მლ-ს ათავსებენ სუფთა ელექტროლიზერში, 15...20 წუთის განმავლობაში ხსნარში ატარებენ წყალბადს და იღებენ პოლაროგრამას. გრაფიკის აგების შემდეგ განსაზღვრავენ ტალღის სიმაღლეს (ვთქვათ, მივიღეთ h_x=10 მმ). თუთიის Zn^{2+} იონების კონცენტრაციას საზღვრავენ (16) ფორმულით:

$$c_x = \frac{0{,}5 \cdot 10}{50} = 0{,}1 \text{ (მგ/მლ)}.$$

მეორე მეთოდის თანახმად ერთნაირ პირობებში ახორციელებენ საანალიზო ხსნარის პოლაროგრაფირებას, შემდეგ უმატებენ სტანდარტული ხსნარის ზუსტად გაზომილ მოცულობას და კვლავ ახორციელებენ მის პოლაროგრაფირებას. გამოთვლას აწარმოებენ ფორმულით

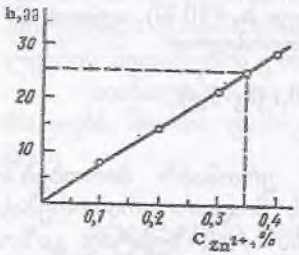
$$x = \frac{a \cdot h_x}{h_{საერთო} \cdot (V_{საერთო} / V_x) - h_x} , \qquad (17)$$

სადაც V_x საანალიზო ხსნარის მოცულობაა; $V_{საერთო}$ — საანალიზო ხსნარის მოცულობა დამატებული ხსნარითურთ; h_x — ტალღის სიმაღლე პირველი გაზომვის დროს; $h_{საერთო}$— ტალღის სიმაღლე მეორე გაზომვის დროს.

სერიული ანალიზების ჩატარებისას ძოსახერხებელია გამოვიყენოთ საგრადუირებელი მრუდები. საგრადუირებელი მრუდის მისაღებად თანაბარ პირობებში ახორციელებენ რამდენიმე სტანდარტული ხსნარის თანაბარი მოცულობების პოლაროგრაფირებას; ეს სტანდარტული ხსნარები უნდა განსხვავდებოდნენ განსასაზღვრავი ნივთიერების კონცენტრაციის მიხედვით, მაგრამ უნდა ჰქონდეთ ფონის ერთნაირი შედგენილობა და კონცენტრაცია. თუ აბსცისათა ღერძზე გადავდებთ კონცენტრაციებს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — ტალღების სიმაღლეებს, მიღებული წერტილებით ავაგებთ საგრადუირებელ მრუდს. საანალიზო ხსნარის ტალღის სიმაღლის გაზომვით საგრადუირებელი მრუდით ადვილად დავადგენთ განსასაზღვრავი ელემენტის შემცველობას.

მაგალითი: თუთიის სტანდარტული ხსნარების პოლაროგრაფირების შედეგად მიღებულია:

$C_{Zn^{2+}}$,%	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
h, მმ	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0



ნახ.103

გამოვითვალოთ თუთიის შემცველობა საანალიზო ხსნარში საგრადუირებელი მრუდის მეთოდით, თუ ამ ხსნარისათვის პოლაროგრაფიული ტალღის სიმაღლეა 25,0 მმ.

ამოხსნა. ვაგებთ ტალღის სიმაღლის თუთიის პროცენტულ შემცველობაზე დამოკიდებულების გრაფიკს (ნახ.103). ამ გარფიკის მიხედვით თუთიის შემცველობა საანალიზო ხსნარში შეადგენს 0,35 %.

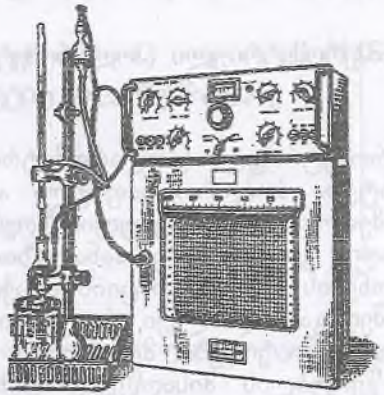
საგრადუირებელი მრუდის მისაღებად გამოყენებული სტანდარტული ხსნარების ფონს უნდა ჰქონდეს ისეთივე შედგენილობა და ისეთივე კონცენტრაცია, როგორიც აქვს საანალიზო ხსნარს. პოლაროგრაფიული ანალიზის პრაქტიკამ გამოიმუშავა სხვადასხვა ელემენტის ფონების განსაზღვრის რეცეპტები.

საგრადუირებელი გრაფიკის მეთოდით ხსნარში თუთიის, ნიკელისა ან კადმიუმის განსაზღვრის მეთოდიკა: 50 მლ ტევადობის ხუთ საზომ კოლბაში ათავსებენ განსასაზღვრავი ელემენტის სტანდარტული

ხსნარის 0,5; 1; 1,5; 2 და 2,5 მლ-ს შესაბამისად, თითოეულში უმატებენ ნატრიუმსულფიტის გაჯერებული ხსნარის 2 მლ-ს, ჟელატინის 0,1 %-ანი ხსნარის 10 წვეთს და კოლბებს ავსებენ ჭდემდე ამიაკური ბუფერული ხსნარით. 10 წთ-ის შემდეგ იწყებენ უფრო კონცენტრირებული ხსნარის პოლაროგრამის გადაღებას. ირჩევენ ხელსაწყოს ისეთ მგრძნობიარობას, რომ განსასაზღვრავი ელემენტის პოლაროგრაფიული ტალღის სიმაღლე იყოს მაქსიმალური. დანარჩენი ხსნარების პოლაროგრამების მოხსნა ხდება ხელსაწყოს მგრძნობიარობის შეცვლის გარეშე.

ამის შემდეგ იღებენ საანალიზო ხსნარის პოლაროგრამას. ამისათვის საანალიზო ხსნარს ათავსებენ 50 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში, უმატებენ ნატრიუმსულფიტის გაჯერებული ხსნარის 2 მლ-ს, ჟელატინის 0,1 %-ანი ხსნარის 10 წვეთს, კოლბას ავსებენ ჭდემდე ამიაკური ბუფერული ხსნარით და 10 წუთის შემდეგ იღებენ პოლაროგრამას იგივე პირობებში. მიღებული პოლაროგრამების სიმაღლეების გაზომვის შემდეგ აგებენ საგრადუირებელ გრაფიკს და ამ გრაფიკის მიხედვით საზღვრავენ საანალიზო ელემენტის შემცველობას.

სერიული თვითმწერი **ЭП-312** ტიპის პოლაროგრაფის საერთო ხედი მოცემულია 104-ე ნახაზზე.



ნახ.104

პოლაროგრაფიული ანალიზის დამახასიათებელი თავისებურებებია:

ა) მაღალი მგრძნობიარობა—ამ მეთოდით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნივთიერება 10^{-5}...10^{-6} მოლამდე ლიტრში კონცენტრაციით;

ბ) რამდენიმე ნივთიერების ერთდროული განსაზღვრის შესაძლებლობა მათი წინასწარი განცალკევების გარეშე;

გ) ანალიზის სისწრაფე—ხსნარის მომზადების შემდეგ რაოდენობითი განსაზღვრა გრძელდება სულ რამდენიმე წუთს;

დ) ანალიზისათვის საჭირო ნივთიერების და რეაქტივების ძალიან მცირე რაოდენობა;

ე) მეთოდის ობიექტურობა, ვინაიდან გამოთვლებს აწარმოებენ გალვანომეტრის ჩვენებათა საფუძველზე.

მინარევების სახით მყოფ ნივთიერებათა ძალიან მცირე რაოდენობის განსაზღვრისას პოლაროგრაფიული მეთოდი სიზუსტით აღემატება წონითსა და მოცულობითს. პოლაროგრაფიული ანალიზის ჩვეულებრივი სიზუსტეა ±2···5 ფარდობითი პროცენტი; ამ თვალსაზრისით იგი შეგვიძლია შევადაროთ კოლორიმეტრიულ მეთოდს.

ამპერომეტრიული (პოლარომეტრიული ანუ ვოლტამპერული) ტიტვრა

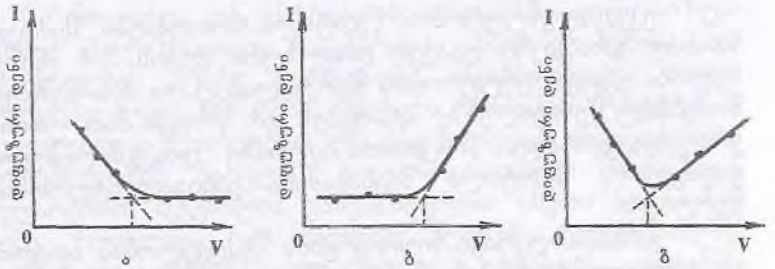
ამპერომეტრიული (პოლარომეტრიული, ვოლტამპერული) ტიტვრა პოლაროგრაფიული ანალიზის ნაირსახეობაა. ეს მეთოდი დაფუძნებულია ზღვრული დიფუზური დენის სიდიდის ცვლილებაზე საანალიზო ხსნარში განსასაზღვრავი იონების კონცენტრაციის შეცვლისას ამ ხსნარის ტიტვრის შედეგად დამლექი რეაქტივით. ეკვივალენტურობის წერტილში ვიღებთ მინიმალურ დენს. ეკვივალენტურობის წერტილის მისაღწევად დახარჯული დატიტრული ხსნარის მოცულობის მიხედვით საზღვრავენ ხსნარში საძიებელი ნივთიერების რაოდენობას.

ამპერომეტრიული ტიტვრისას სარგებლობენ პოლაროგრაფიული დანადგარებით. საანალიზო ხსნარს ათავსებენ ამ დანადგარის ელექტროლიზერში და უშვებენ მასში დატიტრული ხსნარით გავსებული მიკრობიურეტის წვერს. კათოდად გამოიყენება წვეთოვანი ვერცხლისწყლის ელექტროდი (ზოგჯერ იყენებენ პლატინის მიკროელექტროდსაც), ანოდად — პოლაროგრაფიული დანადგარის

შიგა ან გარე ვერცხლისწყლის ელექტროდი. ელექტოდებზე აწვდიან ძაბვას, რომელიც რამდენადმე აღემატება განსაზღვრავი ნივთიერების, ან დამლექის, ან ორივეს აღდგენისათვის აუცილებელ ძაბვას; ამ ძაბვას ინარჩუნებენ მუდმივს ტიტვრის დროს.

ამპერომეტრიული ტიტვრისას შესაძლებელია ძირითადად შემდეგი შემთხვევები:

ა) მოდებული ძაბვის პირობებში საანალიზო იონი აღდგება, ხოლო მუშა ხსნარის (ტიტრანტის) დამლექი იონი არ აღდგება. ამ შემთხვევაში საანალიზო ნივთიერების იონებით გაპირობებული დიფუზური დენი შემცირდება ტიტრანტის დამატებისას (ხსნარში განსასაზღვრავი იონების შემცირების ხარჯზე მათი ურთიერთქმედების შედეგად დამლექ იონებთან და რეაქციის სფეროდან გამოსვლასთან დაკავშირებით ნალექის წარმოქმნისას), სანამ არ მიაღწევს ეკვივალენტურობის წერტილში მინიმალურ მნიშვნელობას (ნახ.105,ა);



ნახ.105 ამპერომეტრიული ტიტვრის მრუდები

ბ) მოდებული ძაბვის პირობებში აღდგება დამლექი იონი, საანალიზო კი არ აღდგება. ამ შემთხვევაში დიფუზური დენი იქნება მუდმივი და მინიმალური ეკვივალენტუ-

[1] ზოგიერთ შემთხვევაში ტიტვრას აწარმოებენ გარედან მოდებული ძაბვის გარეშე. ასე იქცევიან იმ შემთხვევაში, როდესაც საანალიზო ხსნარითა და კალომელის ელექტროდით შექმნილი ელემენტის ემ ძალა საკმარისია აღდგენის პროცესისათვის.

რობის წერტილამდე, როდესაც ხსნარში პრაქტიკულად ქრება განსაზღვრული იონები და არაა დამლექის იონების სიჭარბე, დიფუზური დენი (დამლექი იონების აღდგენის ხარჯზე) გაიზრდება დამლექის მომატებასთან ერთად (ნახ.105,გ);

გ) მოცემული მოდებული ძაბვის პირობებში შეიძლება აღდგეს როგორც საანალიზო ნივთიერების, ისე დამლექის იონებიც. ამ შემთხვევაში დამლექის დამატებისას საანალიზო და დამლექი იონების აღდგენის ხარჯზე შემცირდება დიფუზური დენი (ხსნარში როგორც საანალიზო, ისე დამლექი იონების რაოდენობის შემცირების გამო მათი ურთიერთქმედებისა და რეაქციის სფეროდან გამოსვლის გამო ნალექის წარმოქმნით); ეკვივალენტურობის წერტილში დიფუზური დენი მინიმალურია, ხოლო შემდგომში ტიტრანტის დამატებისას კვლავ გაიზრდება დამლექის აღსადგენი იონების რაოდენობის გაზრდის ხარჯზე (ნახ.105,გ).

ეკვივალენტურობის წერტილი მოიძებნება შემდეგნაირად: გრაფიკზე დააქვთ დიფუზური დენის 3-4 მნიშვნელობა ეკვივალენტურობის წერტილამდე და მის შემდეგ; მოძებნილ წერტილებზე ატარებენ ორ წრფეს მათ ურთიერთგადაკვეთამდე; აბსცისათა ღერძზე დაგეგმილებული გადაკვეთის წერტილი შეესაბამება ეკვივალენტურობის წერტილს.

განსასაზღვრავი ნივთიერების შემცველობას ითვლიან ეკვივალენტურობის წერტილში დახარჯული ტიტრანტის მოცულობის მიხედვით. ტიტრანტის კონცენტრაცია უნდა აღემატებოდეს სატიტრი ნივთიერების კონცენტრაციას 10...15-ჯერ.

მაგალითი: უნდა განისაზღვროს პრეპარატის წონაკში Fe^{2+} შემცველობა გრამებში წონაკის ამპერომეტრიული ტიტვრის გზით, როდესაც კალომელის შედარების ელექტროდის მიმართ მუდმივი ძაბვაა +1,2 ვ. ტიტრანტის სახით გამოიყენება $K_2Cr_2O_7$ -ის 0,01 ნ ხსნარი ტიტრით Fe^{2+} -ის მიხედვით $2{,}8\cdot10^{-4}$ გ/სმ³.

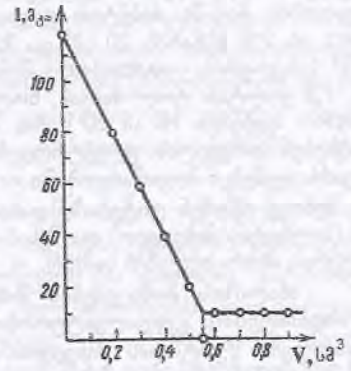
ტიტვრის შედეგებია:

$V_{K_2Cr_2O_7}$, სმ³...	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
I,მკა ...	120	80	60	40	20	10	10	10

აქ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნივთიერებები $1\cdot10^{-3}$ ... $1\cdot10^{-4}$ მოლი/ლ კონცენტრაციის პირობებში დიდი სიზუსტით; ანალიზისათვის საკმარისია ნივთიერებებისა და რეაქტივების მცირე რაოდენობა, შესაძლებელია ისეთი შეფერადებული ხსნარების ტიტვრა, რომელთა ტიტვრისას ჩვეულებრივი მეთოდებით ვერ დავინახავდით ინდიკატორის შეფერილობის შეცვლას. პოლაროგრაფიულ ანალიზთან შედარებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ისეთი ნივთიერებები, რომელთაც არ ძალუძთ აღდგენა ელექტროდზე, მაგრამ რეაგირებენ ნივთიერებებთან, რომლის აღდგენაც შესაძლებელია.

ამპერომეტრიული ტიტვრის მეთოდს იყენებენ ანიონების, აგრეთვე კატიონების განსაზღვრისათვის. დამუშავებულია სხვადასხვა ელემენტების განსაზღვრის მეთოდები.

ხსნარში $FeSO_4\cdot7H_2O$ შემცველობის ამპერომეტრიული ტიტვრით განსაზღვრის მეთოდიკა AY-4M დანადგარის გამოყენებით: ტექნიკურ სასწორზე წონიან $K_2Cr_2O_7$-ის 0,05 გრამს, წონაკი გადააქვთ ბიუქსში და წონიან ანალიზურ სასწორზე. ამის შემდეგ $K_2Cr_2O_7$-ის წონაკი გადააქვთ 100 სმ³ ტევადობის საზომ კოლბაში, ხსნიან გამოხდილი წყლის მცირე მოცულობაში, ავსებენ საზომ კოლბას ჰდემდე გამოხდილი წყლით და საგულდაგულოდ ურევენ. ითვლიან მიღებული სატიტრი ხსნარის ნორმალურობას. 100 სმ³ ტევადობის საზომ კოლბაში გადა-



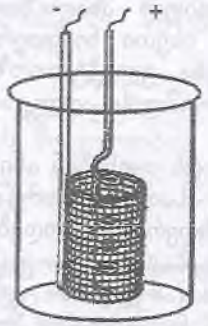
ნახ.106

აქვთ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ საანალიზო ხსნარის განსაზღვრული რაოდენობა, ავსებენ გამოხდილი წყლით ჭდემდე და საგულდაგულოდ ურევენ. 50 სმ³ ტევადობის ჭიქაში პიპეტით გადააქვთ საანალიზო ხსნარის 10 სმ³, H_2SO_4 -ის 2 ნ ხსნარის 20 სმ³ და KNO_3 -ის ან KCl -ის 0,01 ნ ხსნარის 5 სმ³. სახელურის <<НАЛОЖЕНИЕ>> შემოტრიალებით ვოლტმეტრზე აყენებენ 1,3 ვოლტის ტოლ ძაბვას, ხოლო სახელურს <<ВРЕМЯ МЕЖДУ ТИТРОВАНИЕМ>> აყენებენ 10 ან 20 წამის შესაბამის მდგომარეობაში. ჭიქაში ათავსებენ სარეველას, ელექტროდებს და იწყებენ ტიტვრას. გაზომვის ზღვარს აყენებენ მდგომარეობაში <<10>> (ან <<25>>). ყოველი 10...20 წამის შემდეგ იწერენ ტიტვრაზე დახარჯული $K_2Cr_2O_7$ ხსნარის მოცულობას (ბიურეტის მიხედვით) და შესაბამის დენის ძალას მიკროამპერებში. ტიტვრას ახორციელებენ სამჯერ.

ანალიზის მონაცემების მიხედვით აგებენ გრაფიკს I-$V_{K_2Cr_2O_7}$ კოორდინატებში. ეკვივალენტურობის წერტილს საზღვრავენ მრუდის გადაღუნვის წერტილის მიხედვით. $K_2Cr_2O_7$-ის ხსნარის მოცულობას (სმ³-ში) ეძებენ გრაფიკის მიხედვით გადაღუნვის წერტილიდან აბსცისათა ღერძზე მართობის დაშვებით.

2.2.1.3. კულონომეტრია

კულონომეტრია აერთიანებს ანალიზის მეთოდებს, რომლებიც დაფუძნებულია ელექტროქიმიური რეაქციის პროცესში ფარადეის კანონების თანახმად ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობის გაზომვაზე.



ნახ.107.ჰურჰელი ელექტროანალიზისათვის ელექტროდებით

გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობის განსაზღვრისათვის გამოიყენება ელექტროლიზური უჯრედი (ნახ.107) საკვლევ ელექტროლიტში ჩაშვებული ვინკლერის ორი პლატინის ელექტროდით. კათოდი შესრულებულია ბადისებრი ცილინდრის ფორმით წვრილი მავთულით შედარებით მსხვილი მავთულისაგან დამზადებულ კარკასზე; ანოდი—სპირალურად დახვეული მავთულისაგან (1 მმ). ორივე ელექტროდს აყენებენ შტატივის დახმარებით რაც შეიძლება კონცენტრულად ელექტროლიზისათვის განკუთვნილ ჭიქაში .

თუ ანოდს შევაერთებთ ეძ ძალის წყაროს დადებით პოლუსთან, ხოლო კათოდს — უარყოფითთან და მოვდებთ ძაბვას, რომელიც აღემატება დაშლის პოტენციალს[1] — ანიონების და კატიონების გამოყოფისათვის პოტენციალების ალგებრულ სხვაობას — მოხდება ელექტროლიტის დაშლა ანიონებად და კატიონებად. კათოდსა და ანოდს შორის შექმნილ ელექტრულ ველში უარყოფითი იონები იმოძრავებენ ანოდისაკენ, ხოლო დადებითები — კათოდისაკენ (ამიტომ უარყოფით იონებს ანიონები უწოდეს, ხოლო დადებითებს — კატიონები). იწყება ელექტრული დენის გავლა ელექტროლიტში. მიაღწევენ რა კათოდს, კატიონები მიიერთებენ კათოდის ჭარბ ელექტრონებს და გარდაიქმნებიან ნეიტრალურ ატომებად. ეს ატომები ან მათგან წარმოქმნილი მოლეკულები ილექება ელექტროდებზე, ფარავს მათ ნივთიერების ფენით. ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფას ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროლიზი ეწოდება.

ფარადეიმ დაადგინა, რომ ნებისმიერი ნივთიერების 1 გრამ-ეკვივალენტის გამოყოფისათვის ელექტროლიტში უნდა გაიაროს ელექტრობის 96500 კულონმა (96500 ამპერ-წამი). თუ გვეცოდინება დენის ძალა (ამპერებში), დრო (წამებში) და ნივთიერების ეკვივალენტური წონა—ატომური წონა გაყოფილი ვალენტობაზე — (გრამებში), შევძლებთ ამ პირობებში გამოყოფილი ნივთიერების გრამების რაოდენობის განსაზღვრას ან შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტას ფარადეის კანონის გამომსახველი შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

---

[1] დაშლის პოტენციალი რამდენადმე უფრო მეტია ელექტროდული (ელექტროქიმიური) პოტენციალების სხვაობაზე. იონების გამოყოფისათვის როგორც კათოდზე, ისე ანოდზე უნდა დაიხარჯოს რაღაც დამატებითი ძაბვა (ელექტროლიზის დროს ელექტროდებზე მიმდინარე პროცესების არა იდეალური შექცევადობის გამო); ამრიგად ელექტროდზე ელემენტების გამოყოფის პოტენციალი მეტია, ვიდრე ნერნსტის განტოლებით გამოთვლილი ელექტროქიმიური პოტენციალი.

პლატინის ელექტროდების შემთხვევაში 1 ნ ხსნარების დაშლის პოტენციალები შეადგენენ: $ZnSO_4$ -სათვის—2,35 ვ; $CuSO_4$ —1,49 ვ; $AgNO_3$— 0,70 ვ; $CdSO_4$— 2,03 ვ; H_2SO_4—1,67 ვ; HNO_3—1,69 ვ; HCl —1,31 ვ.

$$q = \left(\frac{E}{96500}\right)\cdot I\cdot t = \left(\frac{A}{n\cdot 96500}\right)\cdot I\cdot t \quad . \qquad (18)$$

აქ გამოსახულება ფრჩხილებში ელექტრობის ერთი კულონის გავლის შედეგად გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობაა, ე.ი. ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტია.

კათოდზე ლითონის გამოყოფა ან დალექვა გამოიყენება რაოდენობითი განსაზღვრისათვისაც (რაოდენობით ანალიზში გამოიყენება ლითონების გამოყოფა არა მარტო კათოდზე, არამედ ანოდზეც, უკანასკნელ შემთხვევაში, ბუნებრივია, არა თავისუფალი ლითონების, არამედ ჟანგეულების — PbO_2, MnO_2 და ა.შ. სახით). ამრიგად, ელექტროგრავიმეტრიული განსაზღვრა, ჩვეულებრივი გრავიმეტრიული ანალიზის მსგავსად, დაფუძნებულია განსასაზღვრავი ნივთიერების გამოყოფაზე მყარ ფაზაში. მხოლოდ ამისათვის დამლექი რეაქტივის ნაცვლად გამოყენებულია ელექტრული დენი.

თუ გრავიმეტრიულ ანალიზში რომელიმე ერთი ელემენტის გამოყოფა ელემენტების ნარევიდან წარმოებს დამლექი რეაქტივის შესაბამისი შერჩევით, ელექტროგრავიმეტრიულ ანალიზში განცალკევება შესაძლებელია იმის გამო, რომ ცალკეული ელემენტის გამოყოფის პოტენციალები სხვადასხვაა.

მჟავე ხსნარიდან (მაგალითად 2 ნ H_2SO_4, რომლისათვისაც $E_h=0$) შესაძლებელია მხოლოდ იმ ლითონების გამოყოფა, რომლებიც განლაგებულია ძაბვათა რიგში (ცხრილი 8) წყალბადის ქვევით (მაგალითად, *Cu, Ag, Pb* და ა.შ.).

ლითონის გამოყოფისას იონის კონცენტრაცია სულ კლებულობს, მაშასადამე ნერნსტის განტოლების თანახმად

$E_h = E_h^0 + \frac{0{,}058}{n}\lg c$ — შემცირდება მოცემული ლითონის ელექტროდული პოტენციალი. როდესაც მოცემული ლითონის პოტენციალი წყალბადის მიმართ მიაღწევს თვით წყალბადის პოტენციალს (რომელიც დამოკიდებულია ხსნა-

ცხრილი 8

ზოგიერთი ლითონისა და არალითონის ნორმალური პოტენციალები

ელემენტი	E_h^0, ვ	ელემენტი	E_h^0, ვ
Li	-3,02	$(1/2)H_2$	0,00
K	-2,92	*Bi*	+0,2
Ca	-2,87	*Sb*	+0,2
Na	-2,71	*As*	+0,3
Mg	-1,55	*Cu*	+0,345
Al	-1,67	$2Hg$	+0,80
Mn	-1,05	*Ag*	+0,80
Zn	-0,76	*Pd*	+0,83
Fe	-0,44	Pb^{4+}	+1,7
Cd	-0,40	$2Cl$	+1,36
Co	-0,28	$2H_2O$	+1,23
Ni	-0,25	$2Br$	+1,07
Sn	-0,14	$2I$	+0,62
Pb^{2+}	-0,13	S^{2+}	-0,51

რის pH-ზე - ცხრილი 9), ლითონის გამოყოფა შეწყდება; მის მაგივრად დაიწყებს გამოყოფას წყალბადი. გამოსაყოფი ლითონის იონების გარკვეული ნაწილი აუცილებლად დარჩება ხსნარში.

ცხრილი 9

წყალბადის პოტენციალის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე

pH	0	1	2	3	4	5	6	7
E_h, ვ	0,00	-0,058	-0,116	-0,174	-0,232	-0,290	-0,348	-0,406

pH	8	9	10	11	12	13	14
E_h, ვ	-0,464	-0,522	-0,580	-0,638	-0,696	-0,754	-0,812

დავუშვათ, ელექტროლიზს ექვემდებარება $CuSO_4$-ის გარკვეული რაოდენობა, რომელიც გახსნილია 1 ლ 2 ნ გოგირდმჟავაში (რომლისთვისაც წყალბადის პოტენციალი

E_h=0). სპილენძის გამოყოფა შეწყდება, როდესაც მისთვის E_h გახდება ნულის ტოლი. გამოვთვალოთ ხსნარში ამ დროს დარჩენილი სპილენძის იონების რაოდენობა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ სპილენძის ნორმალური პოტენციალი E_h^0 =0,34, ნერნსტის განტოლებიდან მივიღებთ:

$$E_h = E_h^0 + \frac{0,058}{n}\lg C = 0,34 + \frac{0,058}{2}\lg C = 0,$$

საიდანაც $\lg C = -\frac{0,34}{0,029} = -11,7$ და $C = 10^{-11,7}$,

ე.ი. ხსნარში დარჩენილი სპილენძის იონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა და საკმაოდ შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ სპილენძის გამოყოფა წარმოებს რაოდენობრივად, თუ შევეცდებით მჟავე ხსნარიდან გამოვყოთ რომელიმე ელექტროუარყოფითი (ზემოთ განხილული) ლითონი, მაგალითად, ნიკელი, კათოდზე მოხდება წყალბადის უხვი გამოყოფა, მაგრამ საჭირო ლითონი, შესაძლებელია, სულაც არ გამოიყოს.

იმისათვის, რომ შევძლოთ კათოდზე ელექტროუარყოფითი ლითონების დალექვა, ხელოვნურად უნდა შევცვალოთ კათოდზე წყალბადის გამოყოფის პოტენციალი, ე.ი. გავხადოთ ის დასალექი ლითონის პოტენციალზე უფრო მცირე. ამას შეგვიძლია მივაღწიოთ წყალბადის იონების კონცენტრაციის შემცირებით, ასე, მაგალითად, Ni^{2+} —იონის ნეიტრალური მოლური ხსნარის (წყალბადის იონის კონცენტრაცია 10^{-7} (pH=7)) ელექტროლიზის დროს ჯერ გამოიყოფა ნიკელი (E_h^0 =-0,23 ვ) და არა წყალბადი[1] (E_h=-0,406 ვ), მაგრამ ლითონის გამოყოფისას თანდათან Ni^{2+} იონების კონცენტრაცია ხსნარში შემცირდება, მაშასადამე E_h -ის აბსოლუტური მნიშვნელობა ნიკელისათვის გაიზრდება. ლითონის გამოყოფა თანდათანობით შეიცვლება წყალბადის გამოყოფით; ნიკელის მნიშვნელოვანი ნაწილი დარჩება ხსნარში.

თუ ავიღებთ ამიაკურ ხსნარს, რომლის pH=12 (წყალბადის პოტენციალი ასეთი ტუტე ხსნარისათვის ტოლია -0,696 ვ), ნიკელი შეიძლება გამოვყოთ რაოდენობრივად.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, კათოდზე არ გამოიყოფა იონების მთლიანი რაოდენობა, ასე ვთქვათ, უკანასკნელ იონამდე. სწორედ ეს წარმოადგენს ანალიზის ელექტროგრავიმეტრიული მეთოდის ცდომილების ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილს. მაგრამ განსაზღვრის ჩამტარებელი ანალიტიკოსის ხელოვნება მდგომარეობს სწორედ იმაში, რომ გარემოს სწორი შერჩევით მინიმუმამდე დაიყვანოს ეს ცდომილება. ელექტროგრავიმეტრიული ანალიზის დროს საკვლევი ნივთიერების წონაკი უნდა ავიღოთ ისეთნაირად, რომ განსასაზღვრავი ელემენტების რაოდენობა ხსნარში არ აღემატებოდეს 0,1···0,15 გ.

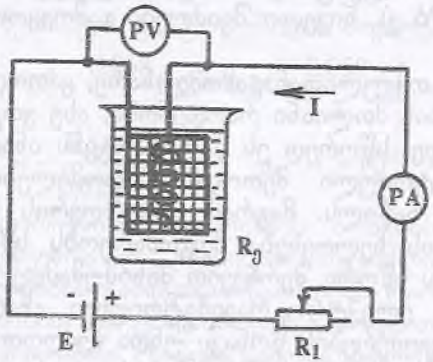
როდესაც ხსნარში ერთდროულად იმყოფება რამდენიმე ელემენტი, მაგალითად, სპილენძი, ნიკელი და ტყვია, გამოცდილმა ანალიტიკოსმა უნდა შეძლოს ერთი ხსნარიდან ელექტროლიზის საშუალებით სამივე ელემენტის განცალკევება და განსაზღვრა. აზოტმჟავა ხსნარის ელექტროლიზის დაწყებისას კათოდზე გამოიყოფა ჯერ მხოლოდ სპილენძი (ვინაიდან მისი გამოყოფისათვის აუცილებელია ენერგიის ყველაზე მცირე რაოდენობა), ანოდზე ერთდროულად გამოიყოფა ტყვია PbO_2 სახით. პრაქტიკულად მთელი სპილენძის გამოყოფის შემდეგ კათოდზე გამოყოფას დაიწყებს წყალბადი. მჟავე გარემოში ამიაკის დამატებით მივიღებთ ტუტე გარემოს და ელექტროლიზით შევძლებთ ნიკელის გამოყოფასაც.

გარემოს სწორი შერჩევის გარდა ელექტროგრავიმეტრიული განსაზღვრის ჩატარებისას განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ ელექტროლიზისათვის გამოყენებული დანადგარის ელექტრულ პარამეტრებს.

დენის ძალა I ელექტროლიზერის წრედში (ნახ.108) განისაზღვრება ომის კანონის თანახმად, მაგრამ დამოკიდებულია არა მხოლოდ დენის წყაროს E პოტენციალზე,

[1] $E_h = E_h^0 + \frac{0,058}{n}\lg C = 0 + \frac{0,058}{1}(-7) = -0,406$ ვ.

$R=R_1+R_ე$ წინაღობაზე ($R_ე$—ელექტროლიზერის წინაღობაა, ე.ი. წინაღობა ელექტროლიტისა ელექტროდებთან ერთად), არამედ ელექტროდების P პოლარიზაციაზეც[1].



ნახ.108. ელექტროლიზისათვის დანადგარის სქემა

რაოდენობრივად პოლარიზაცია ელექტროლიტის დაშლის E_d პოტენციალის ტოლია (ის შეიცავს ყველა პოტენციალს, რომლებიც ხელს უშლიან დენის გატარებას, დიფუზური პოტენციალის ჩათვლით). მაშასადამე

$$I=\frac{E-P}{R}=\frac{E-E_d}{R_1+R_ე} \qquad (19)$$

დენის ძალის სიდიდეს ირჩევენ ელექტროდის ფართობის გათვალისწინებით ისეთნაირად, რომ დენის სიმკვრივემ არ გადააჭარბოს ელექტროლიზისათვის ხელსაყრელ სიმვრივეს — როდესაც კათოდზე ვიღებთ სუფთა, პრიალა, ფენის სისქის მიხედვით თანაბარ ნალექებს. ვინკლერის ბადური ცილინდრის სახით შესრულებულ კათოდს აქვს 10 სმ სიგრძის და 5 სმ სიგანის ბადე. ასეთი ელექტროდის ზედაპირი საკმაო სიზუსტით შეგვიძლია ჩავთვალოთ იგივე სიგრძისა და სიგანის ფირფიტის ფართობის ტოლად, ე.ი. მართკუთხედის გაორკეცებული ფართობის — 100 სმ^2 ან 1 დმ^2 — ტოლად. ელექტროგრავიმეტრიული ანალიზის დროს დენის სიმკვრივე ჩვეულებრივ არ აღემატება 0,5 ა/დმ^2 (არევის შემთხვევაში —1 ა/დმ^2) და სხვადასხვაა სხვადასხვა ელემენტისათვის (ტყვიის გამოყოფისათვის — 0,05 ა/დმ^2, სპილენძისათვის — 0,2 ა/დმ^2, ნიკელისათვის — 0,5 ა/დმ^2).

დენის შერჩეული წყაროს (ჩვეულებრივ აკუმულატორი) და კონკრეტული ელექტროლიტის პირობებში წრედში I დენის ძალის რეგულირება ხორციელდება R_1 რეოსტატის საშუალებით.

ელექტროგრავიმეტრიული განსაზღვრისათვის გამოყენებულ სხვადასხვა გამოთვლებს გავეცნოთ მაგალითზე.

მაგალითი: სპილენძის ელექტროგრავიმეტრიული განსაზღვრისას წინასწარ ცნობილია, რომ მისი შემცველობა საკვლევ ნივთიერებაში არ აღემატება 30%-ს. განვსაზღვროთ პირობები, რომლებიც აუცილებელია ვინკლერის ელექტროდიან ელექტროლიზერში ანალიზის შესრულებისათვის, თუ გამოვიყენებთ აკუმულატორულ ბატარეას 6 ვ ძაბვით; ამ პირობებში განვსაზღვროთ საკვლევ ნივთიერებაში სპილენძის პროცენტული შემცველობა.

ჯერ განვსაზღვროთ სპილენძის 30%-მდე შემცველი რა რაოდენობის ნივთიერება უნდა ავიღოთ მასში სპილენძის შემცველობის ზუსტი დადგენისათვის. როგორც ცნობილია, კარგი შედეგების მისაღებად ხსნარში მიზანშეწონილია გვქონდეს სპილენძის 0,10···0,15 გ. დავუშვათ, შევირჩიეთ 0,125 გ, მაშინ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ სპილენძის პროცენტული შემცველობა საკვლევ ნივთიერებაში არ აღემატება 30%-ს, წონაკისათვის უნდა ავიღოთ ნივთიერების შემდეგი რაოდენობა:

$$0{,}125 \cdot 100/30=0{,}4167 \text{ გ.}$$

ვინაიდან გამოთვლილი წონაკის ზუსტი აღება პრაქტიკულად შეუძლებელია (და ამის აუცილებლობაც არ არსებობს), ვიღებთ წონაკს, რომელიც საკმაოდ ახლოსაა სასურველ წონასთან, ვთქვათ, a=0,4184 გ. საკვლევი ნივთიერების ამ წონაკს ვხსნით 0,2 ნ H_2SO_4-ით. $CuSO_4$-ის შემცველ ხსნარს ვათავსებთ ვინკლერის ელექტროდიან ელექტროლიზერში (ასეთი ხსნარის პირობებში ელექტროლიზერისა და ელექტროდების წინაღობა $R_ე$=2,15 ო).

შემდეგ ვსაზღვრავთ ელექტროლიზერის ელექტრულ პარამეტრებს. ვსაზღვრავთ, რა ძალის დენი შეიძლება გავატაროთ ვინკლერის ბადურ კათოდში, რომ არ გადავაჭარბოთ სპილენძის ელექტროლიზის დროს მაქსიმალურად დასაშვებ დენის ძალას D_k=0,2 ა/დმ^2. ვინაიდან კათოდის სიმაღლეა 5 სმ, ხოლო მისი სიგრძე გაშლილ მდგომარეობაში 10 სმ-ია, ზედაპირი შეადგენს S=2·5·10=100 სმ^2=1 დმ^2. ვინაიდან

[1] პოლარიზაციას უწოდებენ ელექტრომამოძრავებელი ძალის შებრუნებულ სიდიდეს, რომელიც წარმოიშობა ელექტროდებზე ელექტროლიზის პროდუქტების დაგროვების გამო.

$D_k = \frac{I}{S}$, დენის ძალისათვის მივიღებთ $I = D_k \cdot S = 0{,}2 \cdot 1 = 0{,}2$ ა. იმისათვის, რომ უზრუნველვყოთ მოძებნილი დენის ძალა ელექტროლიზერში, (19)-დან განვსაზღვროთ რეოსტატის წინაღობა ფორმულით:

$$R_1 = \frac{E - E_d - IR_2}{I} = \frac{6 - 1{,}49 - 0{,}2 \cdot 2{,}15}{0{,}2} = 20{,}4 \text{ ო.}$$

ელექტროლიზერის პარალელურად ჩართული ვოლტმეტრი გვიჩვენებს

$$U = E_d + IR_2 = 1{,}49 + 0{,}2 \cdot 2{,}15 = 1{,}92 \text{ ვ.}$$

განვსაზღვროთ მინიმალური დრო, რომელიც აუცილებელია ხსნარიდან სპილენძის გამოყოფისათვის. (18)-დან მივიღებთ

$$t = \frac{0{,}125 \cdot 2 \cdot 96500}{63{,}54 \cdot 0{,}2} \approx 1898 \text{ წმ} \approx 32 \text{ წუთი.}$$

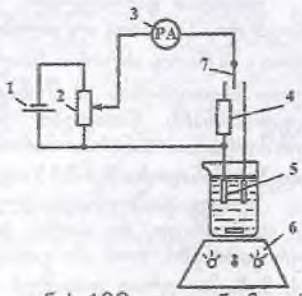
სრული გარანტიისათვის ელექტროლიზი ვაწარმოოთ 60 წუთის განმავლობაში, რომლის შემდეგაც კათოდს დალექილი სპილენძით გამოვრეცხავთ, გავაშრობთ, ავწონით; მივიღეთ 18,4538 გ. კათოდის მასა ელექტროლიზის ჩატარებამდე შეადგენდა 18,3475 გ. მაშასადამე, ელექტროლიზის პროცესში 0,4184 გ წონაკიდან გამოიყო 0,1063 გ სპილენძი. სპილენძის პროცენტული შემცველობა შეადგენს

$$x = \frac{0{,}1063}{0{,}4184} \cdot 100 = 25{,}41\%.$$

კულონომეტრიული ტიტვრა

იმის მაგივრად, რომ ტიტვრისას რეაქტივი დავამატოთ საანალიზო ხსნარს გარედან, შეგვიძლია გავხადროკიელოთ მისი გენერირება ელექტროლიზის შედეგად. მაშინ ტიტვრაზე დახარჯული რეაქტივის ნაცვლად საკმარისია გავზომოთ ელექტროლიტურ უჯრედში გასული ელექტრობის რაოდენობა. ამ მეთოდს კულონომეტრიული ტიტვრის მეთოდი უწოდეს.

კულონომეტრიული ტიტვრისათვის განკუთვნილი უმარტივესი დანადგარის სქემა მოცემულია 109-ე ნახაზზე. ეს დანადგარი შედგება აკუმულატორისაგან 1, რეოსტატისაგან 2, მილიამპერმეტრისაგან 3, წინაღობისაგან 4, უჯრედისაგან ორი პლატინის ელექტროდით 5, მაგნიტური სარევისაგან 6 და გადამრთველისაგან 7. ანალიზის ჩატარებამდე უჯრედის მაგივრად რთავენ წინაღობას 4 (100... 200 ო) და რეოსტატით 2 ამყარებენ წრედში 10...20 მა დენის ძალას.



ნახ.109. კულონომეტრიული დანადგარის სქემა

ნატრიუმთიოსულფატის კულონომეტრიული ტიტვრით განსაზღვრის მეთოდიკა: ელექტროლიზისათვის განკუთვნილ უჯრედში სანაზომი ცილინდრით ასხამენ *KI*-ის 1 M ხსნარის 10 სმ³, $Na_2S_2O_3$-ის $5 \cdot 10^{-4}$ M ხსნარის 10 სმ³, H_2SO_4-ის 0,01 M ხსნარის 1...2 სმ³, და სახამებლის 1%-იანი წყალხსნარის 1 სმ³.

რთავენ სარეველას, გადამრთველი 7 გადაყავთ უჯრედის წრედის კლემაზე და ერთდროულად რთავენ წამსაზომს. თვალყურს ადევნებენ, რომ ელექტროლიზის პროცესში წრედში დენი არ შეიცვალოს— მისი რეგულირება ხდება რეოსტატით 2. კულონომეტრიულ უჯრედში *KI*-დან ელექტროლიზის შედეგად წარმოიქმნება ტიტრანტის — იოდის გენერირება. სახამებლის ლურჯი შეფერილობის მიღებისთანავე (I_2-ის სიჭარბის შემთხვევაში) წრედს გათიშავენ და ერთდროულად აჩერებენ წამსაზომს. დენის ძალისა და დროის მნიშვნელობების მიხედვით ანგარიშობენ ელექტრობის რაოდენობას და $Na_2S_2O_3$-ის ხსნარის კონცენტრაციას.

მაგალითი. $Na_2S_2O_3$-ის 10 სმ³ ხსნარის კულონომეტრიულ ტიტვრაზე კულონომეტრიულ უჯრედში *KI*-დან გენერირებული იოდით დაგვჭირდა 22 წუთი 300 მა დენის ძალის პირობებში. განვსაზღვროთ დახარჯული ელექტრობის რაოდენობა, $Na_2S_2O_3$-ის შემცველობა სინჯში გრამებში და მისი კონცენტრაცია ხსნარში.

ამოხსნა. გამოვთვალოთ ელექტრობის რაოდენობა: $Q = It = 0{,}3 \cdot 22 \cdot 60 = 396$ კლ და 10 სმ³ ხსნარში $Na_2S_2O_3$-ის შემცველობა გრამებში ფორმულით (18):

$$q = \left(\frac{158}{2 \cdot 96500}\right) \cdot 0{,}3 \cdot 22 \cdot 60 = 0{,}3242 \text{ .}$$

ეს რაოდენობა ნატრიუმთიოსულფატისა გვაქვს ხსნარის 10 სმ³-ში, მაშინ 1 დმ³-ში (1ლ-ში) გვექნება 32,42 გ. კონცენტრაციისათვის მივიღებთ

$$C_{Na_2S_2O_3} = 32{,}42/158 = 0{,}2052 \text{ მოლი/დმ}^3 \text{.}$$

კულონომეტრიული ტიტვრის მთელი პროცესი ადვილად ექვემდებარება ავტომატიზაციას.

განვიხილოთ სერიული ტიტრატორი **T-201M1**, რომელიც განკუთვნილია ქლორ-იონების მცირე რაოდენობის განსაზღვრისათვის წყალხსნარებში ვერცხლის იონების

კულონომეტრიული დოზირების მეთოდით ტიტვრის საბოლოო წერტილის ამპერომეტრიული ინდიკაციით. საბოლოო წერტილს საზღვრავენ ინდიკატორულ ელექტროდებს შორის მუდმივი ძაბვის პირობებში საანალიზო ხსნარში გამავალი დენის ცვლილების მიხედვით.

ტიტრატორის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია:

სინჯში ქლორ-იონების კონცენტრაციის გაზომვის დიაპაზონი — 0,02-დან 9,9999 მილიგრამამდე;

გენერატორული დენის მავალებლის დაყენების დიაპაზონი — 0-დან 50 მილიამპერამდე;

ტიტვრის საბოლოო წერტილის მავალებლის დაყენების დიაპაზონი 0-დან 50 მიკროამპერამდე;

ტიტვრის ძირითადი ფარდობითი ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარი — ±2%;

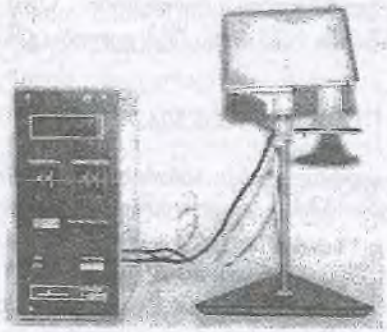
ტიტრატორის გახურების დრო — 30 წუთი;

კვება—ცვლადი დენის ქსელიდან (220±22)ვ ძაბვით;

მოხმარებული სიმძლავრე — არა უმეტეს 30 ვატისა.

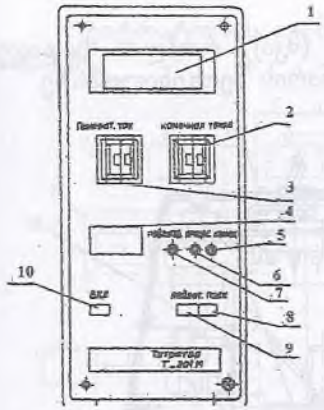
ტიტრატორი შედგება გაზომვისა და ტიტრატორის მართვის ბლოკისაგან (საკუთრივ ხელსაწყოსაგან), სტენდისაგან ტიტვრისათვის (ნახ.110).

გაზომვისა და ტიტვრის ბლოკის საერთო ხედი ნაჩვენებია 111-ე და 112-ე ნახაზებზე.

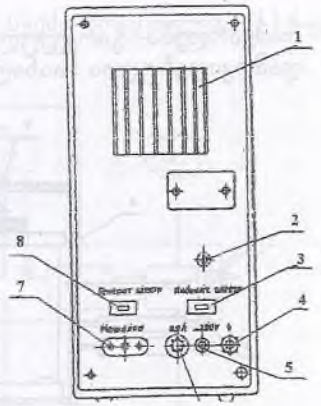


ნახ.110. ტიტრატორის საერთო ხედი

ხელსაწყოს კორპუსის შიგნით განლაგებულია ფუნქციური ბლოკები და ელექტრული სქემის ცალკეული ელემენტები. წინა პანელზე (ნახ.111) გამოტანილია ინდიკაციის და მართვის ორგანოები, ხოლო უკანა პანელზე (ნახ.112) განლაგებულია არაოპერატიული აწყობის ორგანოები და ელექტრული შეერთებების ელემენტები.



ნახ.111. გაზომვისა და ტიტვრის მართვის ბლოკი (წინა პანელი): 1- ციფრული ინდიკატორული ტაბლო; 2-საბოლოო წერტილის დაყენების მავალებელი; 3-გენერატორული დენის დაყენების მავალებელი; 4- მიკროამპერმეტრი; 5 - რეჟიმის <<КОНЕЦ>> მაჩვენებელი; 6- რეჟიმის <<ПРОЦЕСС>> მაჩვენებელი;7-რეჟიმის <<ПОДГОТОВ.>> მაჩვენებელი;8-ღილაკი <<ПУСК>>;9-ღილაკი <<ПОДГОТОВ.>>; 10 - ღილაკი <<ВКЛ.>>

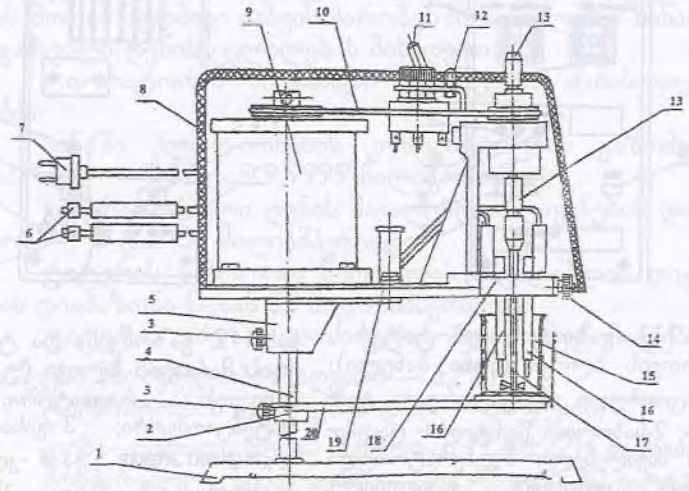


ნახ.112. გაზომვისა და ტიტვრის მართვის ბლოკი (უკანა პანელი): 1 - რადიატორი; 2 - პოტენციომეტრი; 3 -გასართი <<ИНДИКАТ.ЭЛЕКТР.>>; 4 -კლემა <<ЗЕМЛЯ>>; 5 - ქსელი ~220 ვ; 6-დამცველის საჭერი; 7-სარევის როზეტი <<МЕШАЛКА>>; 8 - გასართი <<ГЕНЕРАТ.ЭЛЕКТР.>>

ტიტვრისათვის განკუთვნილი სტენდი (ნახ.113) წარმოადგენს შტატივს, რომელზეც დამაგრებულია მაგიდა, სარევი და ელექტროდების დამჭერი. სარევი და ელექტროდების დამჭერი გაერთიანებულია ერთ კვანძში, რომელიც კრონშტეინის საშუალებით მაგრდება შტატივზე. სარევის ფრთოვანას აბრუნებს ელექტროძრავა. ელექტროდების დამჭერში გვაქვს ოთხი ბუდე ელექტროდებისათვის, რომელთა ფიქსირება ხდება ხრახნებით.

გაზომვა ტარდება შემდეგნაირად: ტიტვრისათვის განკუთვნილ ჭურჭელში ვათავსებთ საანალიზო სითხისა და დამხმარე ხსნარის (ფონის) მოზომილ მოცულობებს. ხსნარში ჩაძირული ინდიკატორული ელექტროდების წყვილს ვაწვდით პოლარიზაციის ძაბვას. ელექტროდების წრედში

დამყარდება გარკვეული დენი (მკა), რომლის სიდიდეც დამოკიდებულია საანალიზო ხსნარის შედგენილობაზე.

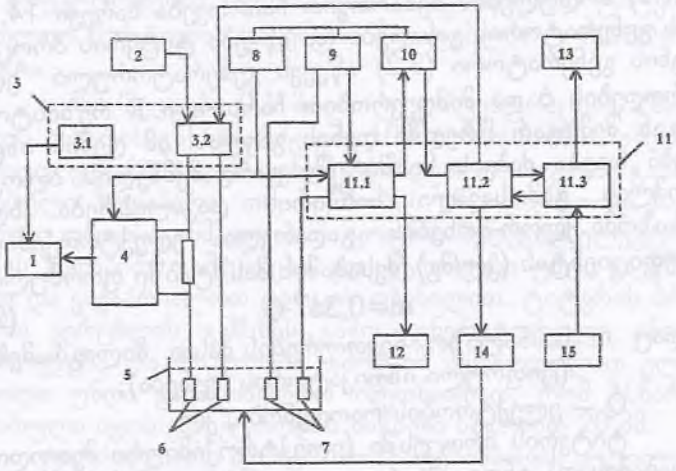


ნახ.113. სტენდი ტიტვრისათვის:
1- ძირი; 2-საჭერი; 3-მომჭერის ხრახნი; 4-შტანგა; 5-კრონშტეინი; 6-გასართი; 7-სარევის ძრავას კვების ჩანგალი; 8-გარსაცმი; 9-სარევის ძრავა; 10-პასიკი; 11-ტუმბლერი; 12-ხრახნი; 13-სარევის ლილვაკი; 14-გამაგრების ხრახნი; 15-ჭიქა; 16-ელექტროდები; 17-სარევის ფრთოვანა; 18-ელექტროდების საჭერი; 19-კონდენსატორი; 20-საბრუნი მაგიდა

ელექტროდების მეორე ე.წ. გენერატორული წყვილის საშუალებით ვატარებთ მუდმივ დენს (0-დან 50 მამდე). ამ დენის გავლისას ერთ-ერთ გენერატორულ ელექტროდზე მისი ანოდური გახსნის შედეგად ძიიღება ვერცხლის იონები: $Ag - e \rightarrow Ag^+$. ვერცხლის იონები ხსნარში ურთიერთქმედებენ ხსნარის ქლორის იონებთან: $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl\downarrow$.

ტიტვრის ბოლოს, მას შემდეგ რაც საანალიზო ნივთიერების ყველა იონი იქნება შეერთებული ვერცხლის იონებთან, ხსნარში გაჩნდება ვერცხლის სიჭარბე, რაც გამოიწვევს ინდიკატორული ელექტროდების დეპოლარიზაციას და ამის გამო დენი მათ წრედში მკვეთრად გაიზრდება.

ტიტრატორის ფუნქციური სქემა მოცემულია 114-ე ნახაზზე.



ნახ.114. T-201 M1 ტიტრატორის ფუნქციური სქემა:
1-ციფრული ინდიკატორი; 2-დენის გენერატორის მავალებელი;3-ციფრული ინდიკატორის (3.1) და დენის გენერატორის (3.2) კვების ბლოკები; 4-ძაბვის სიხშირეში გარდამქმნელის ბლოკი; 5-ელექტროქიმიური უჯრედი; 6-გენერატორული ელექტროდები; 7-ინდიკატორული ელექტროდები; 8-კვების ბლოკი; 9-პოლარიზაციის პოტენციალის მავალებელი; 10-ტიტვრის საბოლოო წერტილის მავალებელი; 11-მარეგულირებელი მოწყობილობის ბლოკი; 11.1-დენის მაძლიერებელი; 11.2-ზღურბლოვანი მოწყობილობა; 11.3-ლოგიკური მოწყობილობა; 12-ინდიკაციის დენის მიკროამპერმეტრი; 13-ანალიზის პროცესის ინდიკაციის ბლოკი; 14-სარევი;15-მართვის ორგანოების ბლოკი

განვიხილოთ ტიტრატორის მუშაობა. საწყის მდგომარეობაში რეჟიმში <<ПОДГОТОВ.>> (ნახ.111) მავალებლის საშუალებით ადგენენ გენერატორულ დენს გენერატორულ ელექტროდებში (მავალებელი 2 114-ე ნახაზზე), ინდიკატორული ელექტროდების პოლარიზაციის პოტენციალს (მავალებელი 9) და დენის ძალას ტიტვრის საბოლოო წერტილში (მავალებელი 10).

ღილაკზე <<ПУСК>> (ნახ.111) დაჭერის შედეგად მარეგულირებელი მოწყობილობის ბლოკის (11.2) და (11.3) მოდულების ნებართვით ჩაირთვება სარევი 14, დენის გენერატორის გასაღები და იწყება ტიტვრის პროცესი. დენის გენერატორი (3.2) იწვევს გენერატორული ელექტროდების 6 და მიმდევრობით ჩართული R რეზისტორისაგან შემდგარ წრედში დენის გავლას. ამ დენის ინტეგრება ხდება ძაბვის სიხშირეში გარდამქმნელის ბლოკით, რომლის გამოსავალი სიხშირის დაკალიბრება ხდება გასაზომი ქლორ-იონების გადათვლის ელექტროქიმიური კოეფიციენტის (კლ/მგ) შესაბამის მასშტაბში ფორმულით:

$$m = 0{,}367 \cdot Q \ , \qquad (20)$$

სადაც m საანალიზო ნივთიერების მასაა მილიგრამებში (ციფრული ინდიკატორის ჩვენება);

Q — ელექტრობის რაოდენობა, კლ.

ტიტვრის პროცესში (ელექტროქიმიური მეთოდიკის შესაბამისად) ინდიკატორული ელექტროდების 7 წრედში გაჩნდება დენი, რომელიც გაძლიერების შემდეგ გარდაიქმნება დენის მაძლიერებლის (11.1) მოდულით პროპორციულ ძაბვაში. დენის მაძლიერებლის საზომი სქემა აგებულია ისე, რომ გამოსავალი მიკროამპერმეტრი 12 გვიჩვენებს ინდიკატორული დენის სიდიდეს. როდესაც (11.1) მაძლიერებლის გამოსავალი ძაბვა (ტიტვრის საბოლოო წერტილის მოცემული დენის შესაბამისი) მიაღწევს მნიშვნელობას მავალებლისა 10, ნულოვანი დონის ზღურბლოვანი მოწყობილობა (11.2) გადადის ტიტვრის აკრძალვის რეჟიმში, რის შედეგადაც გამოირთვება დენის გენერატორი, სარევი და ერთდროულად (11.3) ლოგიკური მოწყობილობის მოდულის საშუალებით ხდება ტიტვრის აკრძალვაზე სქემის ბლოკირება. ამ დროს წინა პანელზე ინთება მაჩვენებელი <<КОНЕЦ>>. ტიტვრის შემდგომი ციკლის განხორციელებისათვის აუცილებელია ლოგიკური მოწყობილობის (11.3) მოდულის განბლოკირება <<ПУСК>> ღილაკით ტიტრატორის წინა პანელზე.

ტიტრატორის მომზადება მუშაობისათვის. ტიტრატორის კომპლექტის გაშლის შემდეგ ტიტრატორის ბლოკი და სარევი უნდა საიმედოდ დავამიწოთ. ტიტრატორის

მომზადება გულისხმობს: ფონის და ჟელატინის 0,5%-იანი ხსნარების დამზადებას, ინდიკატორული და გენერატორული ელექტროდების მდგომარეობის შემოწმებას, ტიტვრის საბოლოო წერტილის დაყენებას მავალებლით <<КОНЕЧНАЯ ТОЧКА>>.

ფონი შედგება 0,1 მოლი/ლ კონცენტრაციის აზოტმჟავას ხსნარისაგან ძმარმჟავას 10%-იან ხსნარში. ინდიკატორულ ელექტროდებს უნდა ჰქონდეთ ღია ფერის გაპრიალებული ზედაპირი. თუ მუშაობის ან უმოქმედოდ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ყოფნის შედეგად ელექტროდების ზედაპირი გამუქდება, ელექტროდები უნდა გავწმინდოთ და გავაპრიალოთ ცარცის ფხვნილით. ტიტვრის პროცესში ვერცხლის გახსნის გამო გენერეტორული ანოდი ვიწროვდება და მოკლდება. ამიტომ პერიოდულად ელექტროდი უნდა გავაგრძელოთ ისეთნაირად, რომ ხსნარში ჩაძირული იყოს ელექტროდის ნაწილი სიგრძით 20 მმ.

ტიტრატორის ბლოკის მომზადებისათვის აუცილებელია:

- ჩავრთოთ ხელსაწყო ქსელში და დავაჭიროთ ღილაკს <<СЕТЬ>> ბლოკის წინა პანელზე, 30 წუთის განმავლობაში ხელსაწყოს გახურების შემდეგ დავაჭიროთ ღილაკს <<ПОДГОТОВ.>> ;
- დავაყენოთ მაპოლარიზებელი ძაბვა, რისთვისაც გასართს <<ЭЛЕКТР.>> (ნახ.112) მივუერთოთ ვოლტმეტრი, მაგალითად В7-38 ტიპისა და პოტენციომეტრით 2 (ნახ.112) დავაყენოთ 150 მვ ძაბვა;
- მავალებლის <<КОНЕЧНАЯ ТОЧКА>> ლიმბი დავაყენოთ მნიშვნელობაზე 7 მკა ფონის ტიტვრისას და 10 მკა სინჯის ტიტვრისას;
- მავალებლის <<ГЕНЕРАТОР.ТОК>> ლიმბი დავაყენოთ გენერატორული დენის არჩეულ მნიშვნელობაზე. ცხრილში 10 მოცემულია მიახლებითი თანაფარდობა გენერატორული დენის სიდიდესა და სინჯში ქლორ-იონების შემცველობას შორის როდესაც ანალიზისათვის აღებული სინჯის მოცულობაა 2 მლ და ანალიზის დრო 200 წამის რიგისაა.

ცხრილი10

გენერატორული დენის სიდიდე, მა	ქლორ-იონების შემცველობა სინჯში, მგ
1	0,063
5	0,31
10	0,62
20	1,24
30	1,86
40	2,48
50	3,10

მუშაობის მიმდევრობა. **T-201M1** ტიტრატორის მომზადების შემდეგ შეგვიძლია შევუდგეთ მუშაობას. ამისათვის აუცილებელია:

- ჩავასხათ ტიტვრისათვის განკუთვნილ უჯრედში საანალიზო ხსნარის 2 მლ, ფონის ხსნარის 10 მლ და ჟელატინის ხსნარის 5 წვეთი;
- უჯრედი ხსნარით მოვათავსოთ საბრუნ მაგიდაზე ისე, რომ მასში ჩაიძიროს ელექტროდები;
- ჩავრთოთ სარევი ტუმბლერით;
- იმის შემდეგ, რაც მიკროამპერმეტრის სკალაზე (ნახ.111) დამყარდება 4 მკა-ზე ნაკლები მნიშვნელობა დავაჭიროთ ღილაკს <<ПУСК>>. ტიტვრის პროცესის ჩართვის მაჩვენებელია წინა პანელზე სასიგნალო ნათურის <<ПРОЦЕСС>> ანთება;
- ტიტვრის პროცესის დასრულებისას აინთება სასიგნალო ნათურა <<КОНЕЦ>>. ციფრული ინდიკატორის ტაბლოზე გამოჩნდება ტიტვრის შედეგი C_I , რომელიც უნდა ჩავიწეროთ.

საანალიზო სინჯში ქლორ-იონების შემცველობის გამოთვლისათვის უნდა ჩავატაროთ ფონის ხსნარისა და ჟელატინის 5 წვეთის უქმი ტიტვრა. ამისათვის:

- უჯრედში უნდა ჩავასხათ ფონის ხსნარის 10 მლ და ჟელატინის 5 წვეთი;

- მოვათავსოთ უჯრედი ხსნარით საბრუნ მაგიდაზე და ჩავძიროთ მასში ელექტროდები;
- დავაჭიროთ ღილაკს <<ПОДГОТОВ.>>;
- დავაყენოთ მავალებლის <<ГЕНЕРАТОР.ТОК>> ლიმბი მნიშვნელობაზე 1 მა;
- იმის შემდეგ, რაც მიკროამპერმეტრის სკალაზე დამყარდება 4 მკა-ზე ნაკლები მნიშვნელობა, დავაჭიროთ ღილაკს <<ПУСК>>;
- ტიტვრის დამთავრების შემდეგ (აინთება ნათურა <<КОНЕЦ>>) ავითვალოთ ინდიკატორის ციფრული ტაბლოდან შედეგი $C_ф$. ფონის კონცენტრაციის განსაზღვრა ჩავატაროთ სამჯერ და ავიღოთ ამ სამი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკული — $\bar{C}_ф$;
- გამოვითვალოთ სინჯში ქლორ-იონების შემცველობა Cxi ფორმულით:

$$Cxi = Ci - \bar{C}_ф. \qquad (21)$$

ტიტვრის დამთავრების შემდეგ ელექტროდები უნდა გამოვრეცხოთ უმარილო წყლით და გავაშროთ საფილტრავი ქაღალდით.

შემდეგი ანალიზის ჩასატარებლად უჯრედი ახალი სინჯით უნდა მოვათავსოთ საბრუნ მაგიდაზე, ჩავძიროთ მასში ელექტროდები და დავაჭიროთ ღილაკს <<ПОДГОТОВ.>>. აინთება სასიგნალო ნათურა <<ПОДГОТОВ.>> და ხელსაწყო მზადაა შემდეგი ანალიზისათვის.

მეტროლოგიური მახასიათებლების განსაზღვრა. მეტროლოგიური მახასიათებლების განსაზღვრა წარმოებს ჰაერის (20±5) °C ტემპერატურის, 30-დან 80 %-მდე ფარდობითი ტენიანობის, ქსელის (220±4,4) ვ ძაბვისა და (50±0,5) ჰც სიხშირის პირობებში.

ტიტვრის ძირითადი ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა ხდება კალიუმქლორიდის 0,01 მოლი/ლ კონცენტრაციის შესამოწმებელი ხსნარის ტიტვრის გზით. ასეთი კონცენტრაციის *KCl* -ის ხსნარი შეიცავს 355 მგ/ლ ქლორის იონებს. 2 მლ სინჯში გვექნება 355·2/1000=0,71 მგ

ქლორის იონებისა. ამიტომ მე-10 ცხრილის თანახმად სინჯის ტიტვრის დროს გენერატორული დენის მნიშვნელობა უნდა შეადგენდეს 10 მა-ს, ხოლო ტიტვრის საბოლოო წერტილის შესაბამისი დენის ძალის მნიშვნელობა 10 მკა-ს. თუ შესამოწმებელი ხსნარის ტიტვრის შედეგს $C_{ჭi}$ გამოვაკლებთ ფონის ტიტვრის შედეგს (1 მა გენერატორული დენის და 7 მკა ტიტვრის საბოლოო წერტილის პირობებში) $\bar{C}_{ფ}$, მივიღებთ შესამოწმებელ ხსნარში ქლორ-იონების ხელსაწყოთი განსაზღვრულ შემცველობას $Cxi = C_{ჭi} - \bar{C}_{ფ}$. ერთეულოვანი ტიტვრის ძირითადი ფარდობითი ცდომილება δi (პროცენტებში) გამოითვლება ფორმულით:

$$\delta i = \frac{0{,}71 - Cxi}{0{,}71} \cdot 100 , \qquad (22)$$

სადაც 0,71 შესამოწმებელი ხსნარის სინჯში ქლორ-იონების საანგარიშო კონცენტრაციაა მილიგრამებში.

δi -ს ათჯერადი განსაზღვრის შედეგად შეგვიძლია მოვძებნოთ ტიტვრის ძირითადი ფარდობითი ცდომილების გასაშუალოებული მნიშვნელობა:

$$\delta_{საშ} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \delta_i}{10} . \qquad (23)$$

ძირითადი ფარდობითი ცდომილების მიღებული მნიშვნელობა $\delta_{საშ}$ არ უნდა აღემატებოდეს ±2%-ს.

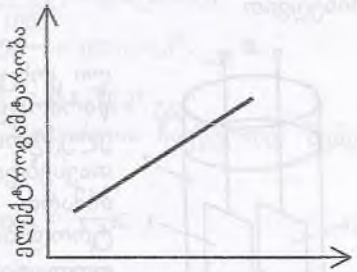
2.2.1.4. კონდუქტომეტრია

კონდუქტომეტრიას მიეკუთვნება მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია საანალიზო ხსნარების — ელექტროლიტების ელექტროგამტარობის გაზომვაზე.

ელექტროლიტები ნივთიერებებია, რომლებიც იხლიჩება გახსნისას დადებით იონებად (კატიონებად) და უარყოფით იონებად (ანიონებად) და ამდენად ქმნიან ელექტროგამტარ ხსნარებს. ელექტრული ველის ზეგავლენით კატიონები მოძრაობენ უარყოფითი ელექტროდისაკენ

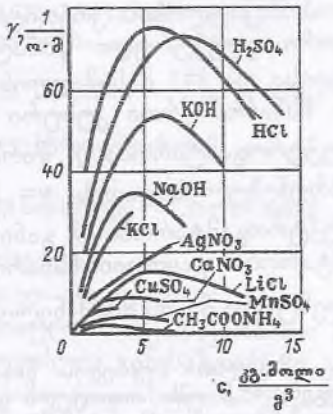
(კათოდისაკენ), ხოლო ანიონები — დადებითი ელექტროდისაკენ (ანოდისაკენ) და გადააქვთ ელექტრული მუხტები მათი ვალენტობის შესაბამისად.

ელექტროგამტარობა G ელექტრული წინაღობის R შებრუნებული სიდიდეა (G=1/R). იგი დამოკიდებულია კატიონებისა და ანიონების კონცენტრაციაზე, მათ ვალენტობაზე, მათ ძვრადობაზე. სუფთა, ზედმიწევნით გამოხდილი წყლის ელექტროგამტარობა ახლოსაა ნულთან და იზრდება გახსნილი ნივთიერებების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად (ნახ.115).



ნახ.115

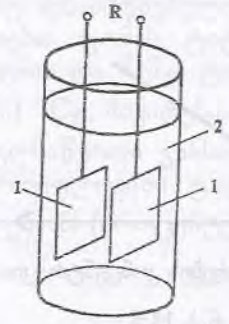
კონცენტრაციის ზრდისას დისოციაციის (გახლეჩის) ხარისხისა და იონების ძვრადობის შემცირების შედეგად პროპორციულობა ირღვევა (ნახ.116).



ნახ.116 კუთრი ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება ეკვივალენტურ კონცენტრაციაზე ელექტროლიტების სხვადასხვა ხსნარებისათვის

გარკვეულ ფარგლებში წრფივი დამოკიდებულება ელექტროლიტების გამტარობისა მათ კონცენტრაციაზე გამოიყენება კონდუქტომეტრულ ანალიზში ნივთიერების

კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის ელექტროლიტური გარდამქმნელის ელექტროდთაშორის სივრცეში ელექტროლიტის ელექტროგამტარობის გაზომვის შედეგების მიხედვით.



ნახ.117

ელექტროლიტური გარდამქმნელი კონცენტრაციის გასაზომად (ნახ.117) წარმოადგენს ხსნარით 2 შევსებულ ელექტროლიტურ უჯრედს მასში მოთავსებული უძრავი საკვლევი ხსნარის მიმართ ქიმიურად ინერტული ელექტროდებით 1 (პლატინისაგან, უჟანგავი ფოლადისაგან, გრაფიტისაგან). R წინაღობა გარდამქმნელის ელექტროდებს შორის პროპორციულია ელექტროდებს შორის l მანძილისა და უკუპროპორციულია ხსნარში ჩაშვებული ელექტროდების S ფართობისა:

$$R = \frac{\rho\, l}{S} \qquad (24)$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი ρ ცნობილია როგორც კუთრი ელექტრული წინაღობა, რომელიც ტოლია $1 მ^2$ კვეთისა და l=1 მ სიმაღლის სითხის სვეტის წინაღობისა, ე.ი. ხსნარის ერთი კუბური მეტრის წინაღობისა. კუთრი ელექტროგამტარობა γ წარმოადგენს კუთრი წინაღობის შებრუნებულ სიდიდეს: $\gamma = 1/\rho$. ხსნარის ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა λ განისაზღვრება კუთრი ელექტროგამტარობის გაყოფით ხსნარის 1 $დმ^3$-ში ნივთიერების ეკვივალენტური მასის მნიშვნელობაზე: $\lambda = (\gamma \cdot 1000)/N$.

მაგალითი. უჯრედის წინაღობა 0,1 ნ *NaCL*-ის ხსნარით შეადგენს 46,8 ომს. თითოეული ელექტროდის ფართობია 1,50 $სმ^2$, ხოლო მანძილი მათ შორის 0,75 სანტიმეტრია. განვსაზღვროთ კუთრი და ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა.

ამოხსნა: განვსაზღვროთ ხსნარის ელექტროგამტარობა

$$G = 1/R = 1/46{,}8 = 0{,}0214 \text{ ომ}^{-1} = 0{,}0214 \text{ სიმ}.$$

გამოვთვალოთ კუთრი ელექტროგამტარობა:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R \cdot S/l} = \frac{G \cdot l}{S} = \frac{0{,}0214 \cdot 0{,}75}{1{,}50} = 0{,}0107 \text{ ომ}^{-1} \cdot \text{სმ}^{-1} =$$

$$= 0{,}0107 \text{ სიმ} \cdot \text{სმ}^{-1} = 1{,}07 \text{ სიმ} \cdot \text{მ}^{-1}.$$

გამოვთვალოთ ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა:

$$\lambda = \frac{\gamma \cdot 1000}{N} = \frac{0{,}0107 \cdot 1000}{0{,}1} = 107 \text{ ომ}^{-1} \cdot \text{სმ}^2 \cdot \text{ეკვ}^{-1} =$$

$$= 107 \text{ სიმ} \cdot \text{სმ}^2 \cdot \text{ეკვ}^{-1} = 1{,}07 \cdot 10^{-2} \text{ სიმ} \cdot \text{მ}^2 \cdot \text{ეკვ}^{-1}.$$

(24) გამოსახულება შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგი სახითაც

$$R = \rho \frac{1}{S} = \rho K = \frac{1}{\gamma} K, \qquad (25)$$

სადაც γ კუთრი ელექტროგამტარობაა,

K=l/S — გარდამქმნელის მუდმივა, რომელიც დამოკიდებულია მისი გეომეტრიული ზომების (l,S) თანაფარდობაზე.

მაგალითი. გამოვთვალოთ 0,01 ნ *HCl*-ის კუთრი და ეკვივალენტური გამტარობა და ჰურჩლის (უჯრედის) მუდმივა, თუ ხსნარის ელექტრული წინაღობაა 390,625 ომ, თითოეული ელექტროდის ფართობია 2 $სმ^2$, ხოლო მანძილი მათ შორის 1 სანტიმეტრია.

ამოხსნა: ხსნარის ელექტროგამტარობისათვის მივიღებთ

$$G = 1/R = 1/390{,}625 = 2{,}56 \cdot 10^{-3} \text{ სიმ}.$$

კუთრი ელექტროგამტარობა ტოლი იქნება

$$\gamma = \frac{G \cdot l}{S} = \frac{2{,}56 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{2} = 1{,}28 \cdot 10^{-3} \text{ სიმ} \cdot \text{სმ}^{-1} = 1{,}28 \cdot 10^{-1} \text{ სიმ} \cdot \text{მ}^{-1}.$$

გამოვთვალოთ ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა:

$$\lambda = \frac{\gamma \cdot 1000}{N} = \frac{1{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{0{,}01} = 128 \text{ სიმ} \cdot \text{სმ}^2 \cdot \text{ეკვ}^{-1} = 1{,}28 \cdot 10^{-2} \text{ სიმ} \cdot \text{მ}^2 \cdot \text{ეკვ}^{-1}.$$

მოვძებნოთ უჯრედის მუდმივა (კონსტანტა)

$$K = \gamma \cdot R = 1{,}28 \cdot 10^{-1} \cdot 390{,}625 = 50 \text{ მ}^{-1}.$$

თუ უჯრედის გეომეტრიული ზომები ცნობილი არაა, გარდამქმნელის მუდმივა შეგვიძლია განვსაზღვროთ ექსპერიმენტულად. ამისათვის ქიმიურად სუფთა *KCl*-ისაგან ამზადებენ 1 ნ და 0,1 ნ ხსნარებს. უჯრედს ავსებენ *KCl*-ის 0,1 ნ ხსნარის ისეთივე მოცულობით, როგორც ანალიზის ჩატარებისას. 25 ^{0}C-ის პირობებში უჯრედის თერმოსტატირების შემდეგ ზომავენ ხსნარის წინაღობას. შემდეგ უჯ-

რედს გამორეცხავენ, ათავსებენ მასში *KCl*-ის 1ნ ხსნარს და კვლავ ზომავენ წინაღობას. გამოითვლება მუდმივა ორივე ხსნარისათვის: $K=\gamma R$, სადაც *KCl*-ის ხსნარის კუთრ ელექტროგამტარობას შესაბამისი ნორმალურობისათვის ვიღებთ მე-11 ცხრილიდან.

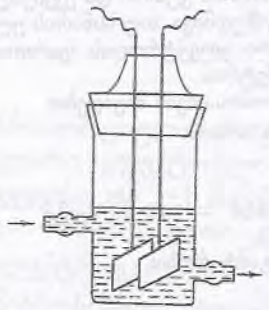
ცხრილი 11

KCl-ის წყალხსნარების კუთრი ელექტროგამტარობა γ

ხსნარი	$\gamma \cdot 10^{-2}$(სიმ/მ)				
	5^0C	10^0C	15^0C	20^0C	25^0C
KCl(0,1ნ)	0,00822	0,00933	0,01048	0,01167	0,01288
KCl(1ნ)	0,07414	0,08349	0,09252	0,10207	0,11180

გამოთვლების დროს გამოიყენება K-ს საშუალო მნიშვნელობა.

უნივერსალური ელექტროლიტური გარდამქმნელისათვის, რომლის კორპუსიც დამზადებულია ქიმიურად მედეგი მინისაგან მასში ჩადნობილი პლატინის ფირფიტოვანი ელექტროდებით, K მუდმივა იმყოფება 30...70 1/მ ფარგლებში და განისაზღვრება ±1% ცდომილებით. საცვლო საზომი ჭურჭლები უზრუნველყოფს გარდამქმნელის გამოყენების შესაძლებლობას გაზომვებისათვის გამდინარე სითხეში (ნახ.118), საკვლევ ხსნარში ჩაძირვისას და სიხჯების აღების გზით (სითხის მინიმალურად აუცილებელი რაოდენობაა 6..7 მლ).



ნახ.118

კონდუქტომეტრული ანალიზის ერთ-ერთ ძირითად სახეობაში, პირდაპირ კონდუქტომეტრიაში საანალიზო ხსნარის ელექტროგამტარობის განსაზღვრისათვის ელექტროლიტურ გარდამქმნელს რთავენ ხიდურ საზომ წრედში; მას ხშირად ამუშავებენ ავტომატურ ხიდებთან (კონცენტრატომეტრები). გარდამქმნელის წინაღობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე. ამ დამოკიდებულების კომპენსაციისათვის ელექტროლიტური გარდამქმნელის მიმდევრობით რთავენ თერმორეზისტორებს.

გაზომვა ელექტროლიტური გარდამქმნელით წარმოებს ძირითადად საძრეწველო სიხშირის (50 ჰც) ცვლადი დენის წრედიდან ან რამდენიმე კილოჰერცის სიხშირით. თუ ელექტროლიტურ გარდამქმნელს ვკვებავთ მუდმივი დენის ძაბვით, მოხდება ხსნარის ელექტროლიზი და შეიცვლება მისი კონცენტრაცია ელექტროდების მახლობლად. მუდმივი დენი ახორციელებს აგრეთვე ელექტროდების პოლარიზაციას. ორივე მოვლენა ქმნის ცდომილებას.

სერიული კონდუქტომეტრებიდან განვიხილოთ ЛК-563М ტიპის ლაბორატორიული კონდუქტომეტრი. ის განკუთვნილია უმარილო ან გამონახადი წყლის, აგრეთვე 10..20-ჯერ განზავებული ბუნებრივი წყლებისა და ნიადაგიდან გამონახსნარების კუთრი ელექტროგამტარობის გასაზომად.

ამ კონდუქტომეტრს იყენებენ წყლის გაწმენდის ხარისხისა და მასში მარილის მინარევების მცირე კონცენტრაციების კონტროლისათვის.

ელექტროგამტარობის გაზომვის დიაპაზონია 10^{-6} - დან 10^{-3} სიმ/სმ.

გამოყენებული პირველადი გარდამქმნელების მიხედვით გაზომვის დიაპაზონი დაყოფილია სამ ქვედიაპაზონად

პირველადი გარდამქმნელის მოდიფიკაცია	კუთრი ელექტროგამტარობის გაზომვის ქვედიაპაზონი, სიმ/სმ	გამოყენების სფერო
ДЭП-002	10^{-6}-10^{-5}	გამონახადი
ДЭП-003	10^{-5}-10^{-4}	გამონახადი+წყალი
ДЭП-004	10^{-4}-10^{-3}	წყალი

კონდუქტომეტრის სკალა (ნახ.119) დაგრადუირებულია 0-დან 10 მკა-მდე, რაც შეესაბამება:

ДЭП-002 გარდამქმნელისათვის 0-დან 10 მკსიმ/სმ,

ДЭП-003 გარდამქმნელისათვის 0-დან 100 მკსიმ/სმ,

ДЭП-004 გარდამქმნელისათვის 0-დან 1000 მკსიმ/სმ.

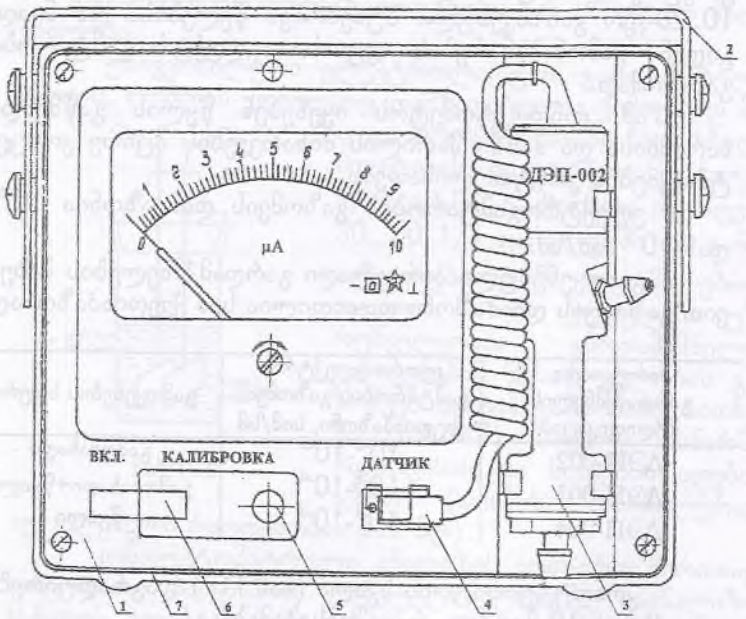
სკალის მნიშვნელობა მიკროამპერებში შეესაბამება მნიშვნელობას მკსიმ/სმ-ში.

კონდუქტომეტრის კვება ხდება 1,5 ვ ემ ძალის მქონე ელემენტიდან.

ინტერვალი გაზომვებს შორის უნდა იყოს არა ნაკლებ 1 წუთისა.

კონდუქტომეტრის ძირითადი დაყვანილი ცდომილებაა ±1,5% ქვედიაპაზონის ბოლოს მიმართ.

ЛК-563М ტიპის კონდუქტომეტრის მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია საანალიზო ხსნარის ელექტროგამტარობის პროპორციული მუდმივი დენის დისკრეტულ გაზომვაზე.



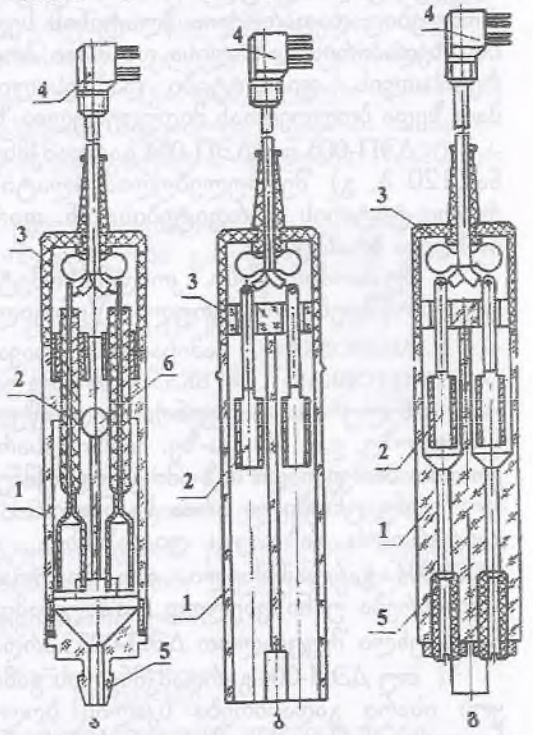
ნახ.119. ЛК-563М ტიპის კონდუქტომეტრის საერთო ხედი: 1-პანელი; 2-სახელურო; 3-მგრძნობიარე ელემენტი; 4-მიკროგასართი; 5-რეგულატორი; 6-გადამრთველი; 7-კორპუსი

კონდუქტომეტრი შედგება საზომი ბლოკისა და პირველადი გარდამქმნელის სამი მოდიფიკაციისაგან გამტარობის გასაზომი ქვედიაპაზონის შესაბამისად. კონდუქტომეტრის საერთო ხედი მოცემულია 119-ე ნახაზზე.

საზომი ბლოკი წარმოადგენს პანელს 1, რომელიც დამონტაჟებულია პლასტმასის კორპუსში 7. პანელი კორპუსზე მაგრდება ოთხი ხრახნით. პანელის უკანა მხარეზე მოთავსებულია საჭერი ემ ძალის ელემენტით. ელემენტის გამოცვლა ხდება კორპუსის უკანა მხრიდან.

კონდუქტომეტრის წინა პანელზე განლაგებულია: მიკროამპერმეტრი, რეგულირების რეზისტორის სახელურო 5, აგრეთვე მიკროგასართი 4 პირველადი საზომი გარდამქმნელის მისაერთებლად.პირველადი საზომი გარდამქმნელი (მგრძნობიარე ელემენტი) 3 განლაგებულია წინა პანელის სპეციალურ წაღობში ორ ზამბარიან საჭერზე. გადატანის გაადვილებისათვის საზომ ბლოკს აქვს სახელურო 2.

პირველადი საზომი გარდამქმნელების კონსტრუქცია მოცემულია 120-ე ნახაზზე.



ნახ.120

ყველა გარდამქმნელი შედგება გამჭვირვალე ორგანული მინისაგან დამზადებული კორპუსისაგან, რომლის ღრუში დამონტაჟებულია ელექტროდები 2; ცილინდრული ხუფისაგან 3 და გამოსავალი ზონარისაგან ჩანგლით 4, რომლითაც გარდამქმნელი უერთდება საზომ ბლოკს.

გამდინარე ДЭП-002 ტიპის პირველად საზომ გარდამქმნელს (ნახ.120,ა) გააჩნია შესავალი 5 და გამოსავალი 6 შტუცერი, რომლებთანაც აერთებენ რეზინის მილებს საანალიზო სითხის მისაწოდებლად.

ДЭП-002 გარდამქმნელის ელექტროდები 2 წარმოადგენენ ცილინდრული ფორმის ტიტანის ორ ფირფიტას, რომლებიც დაფარულია პლატინის სევადით ელექტროდების ზედაპირის გაზრდისა და მათი პოლარიზაციის შემცირებისათვის. ფირფიტები დაპრესილია პოლიეთილენით, მათ ზედა ბოლოებთან მიდუღებულია ზონარი ჩანგლით 4.

ДЭП-003 და ДЭП-004 გარდამქმნელები (შესაბამისად ნახ.120 ბ, გ) შესრულებულია პლატინის სევადით დაფარული ტიტანის ფირფიტებისაგან. ფირფიტების ფიქსირება ხდება ხრახნებით.

მუშაობის წესი. კონდუქტომეტრის ჩართვის შემდეგ მოწმდება რეპერული წერტილი მდგომარეობაში << КАЛИБРОВКА>>. ამისათვის დავაჭიროთ ღილაკებს << КАЛИБРОВКА>> , << ВКЛ>> და რეგულირების რეზისტორის სახელურით დავაყენოთ ხელსაწყოს ისარი რეპერულ წერტილზე, ე.ი. 10 მკა-ზე. მიკროგასართის ბუდეს 5 მივუერთოთ პირველადი საზომი გარდამქმნელი.

თუ ცნობილი არაა საანალიზო ხსნარის ელექტროგამტარობის გაზომვის დიაპაზონი , უნდა გამოვიყენოთ ДЭП-004 გარდამქმნელი. თუ მიკროამპერმეტრის ისარი გადაიხრება უმნიშვნელოდ (ნიშნულამდე << 1>>) გარდამქმნელი უნდა შევცვალოთ ДЭП-003 გარდამქმნელით და ა.შ.

თუ ДЭП-004 გარდამქმნელის გამოყენებისას ხელსაწყოს ისარი გადაიხრება სკალის ბოლომდე (მაგალითად, ნიადაგიდან წყლის გამონახსნარების ან გრუნტის წყლების გაზომვისას), ამ შემთხვევაში უნდა მოვახდინოთ განზავება 10...20-ჯერ და საერთო მარილშემცველობის განსაზღვრისას გავითვალისწინოთ განზავების ფაქტორი.

პირველადი საზომი გარდამქმნელის სწორად შერჩევის შემთხვევაში საანალიზო გარემოს ელექტროგამტარობის დიაპაზონის შესაბამისად, უნდა დავაჭიროთ ღილაკს და 5-7 წამის განმავლობაში (კონდუქტომეტრის გაზომვის ციკლის პერიოდი) ავიღოთ ანათვალი.

რეკომენდაციები კონდუქტომეტრის მომხმარებლებისათვის. კონდუქტომეტრი ЛК-563М შეგვიძლია გამოვიყენოთ ა) თბოელექტროცენტრალებში გამონახადისა და უმარილო წყლის ანალიზისათვის ელექტროგამტარობის 10^{-6} — 10^{-5} სიმ/სმ დიაპაზონში (გარდამქმნელი ДЭП-002); ბ) ზონალურ აგროქიმიურ ლაბორატორიებში ნიადაგიდან გამონახსნარებისა და გრუნტის წყლებში საერთო მარილშემცველობის ანალიზისათვის ელექტროგამტარობის 10^{-6} — 10^{-3} სიმ/სმ დიაპაზონში (გარდამქმნელები ДЭП-003, ДЭП-004). ასეთი დიაპაზონი შეგვიძლია მივიღოთ საანალიზო გამონახსნარებისა და გრუნტის წყლების 1...20-ჯერ განზავების გზით.

მათი კუთრი ელექტროგამტარობის გაზომვის შემდეგ საერთო მარილშემცველობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$c=1{,}0\cdot\gamma_{18}\cdot n\cdot 10^{6}\ \text{მგ/ლ}\ , \qquad (26)$$

სადაც c მარილშემცველობაა, მგ/ლ ;

γ_{18}—კუთრი ელექტროგამტარობა, სიმ/სმ 18^{0}C-ის დროს;

n —ნიადაგის გამონახსნარის განზავების ხარისხი.

საანალიზო ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა მოცემული ტემპერატურის დროს γ_t ადვილად შეგვიძლია დავიყვანოთ იმავე ხსნარის კუთრ ელექტროგამტარობაზე 18^{0}C-ის დროს შემდეგი ფორმულით:

$$\gamma_{18}=\frac{\gamma_t}{[1+\alpha(t-18)]}\ , \qquad (27)$$

სადაც α ხსნარის ტემპერატურული კოეფიციენტია;

t — საანალიზო ხსნარის ტემპერატურა.

კონდუქტომეტრის საშუალებით ერთი და იმავე ხსნარისათვის მიღებული ორი მნიშვნელობის მიხედვით γ_t და γ_{18}

შეგვიძლია განვსაზღვროთ α-ს ზუსტი მნიშვნელობა ფორმულით

$$\alpha = \frac{\gamma_t - \gamma_{18}}{\gamma_{18} \cdot (t-18)} \qquad (28)$$

საერთო მარილშემცველობის განსაზღვრის ცდომილება ამ ფორმულებით არ აღემატება ±10%-ს, რაც პასუხობს გამონახსნარისა და გრუნტის წყლების ანალიზისათვის დადგენილ ნორმატივებს.

განვიხილოთ ციფრული КЭЛ-1М2 ტიპის კონდუქტომეტრი (ნახ.121).

საზომ გარემოს წარმოადგენს მჟავების, ტუტეების და ა.შ. ხსნარები.

კუთრი ელექტროგამტარობის გაზომვის დიაპაზონი $10 \cdot 10^{-7}$-დან $10 \cdot 10^{1}$ სიმ/მ დაყოფილია რვა ძირითად ქვედიაპაზონად, ხოლო ისინი — დამატებით ქვედიაპაზონებად

ძირითადი ქვედიაპაზონები, სიმ/მ	დამატებითი ქვედიაპაზონები, სიმ/მ
$10 \cdot 10^{-7}$ — $100 \cdot 10^{-7}$	$10 \cdot 10^{-7}$ — $50 \cdot 10^{-7}$
$10 \cdot 10^{-6}$ — $100 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$ — $50 \cdot 10^{-6}$
$10 \cdot 10^{-5}$ — $100 \cdot 10^{-5}$	$10 \cdot 10^{-5}$ — $50 \cdot 10^{-5}$
$10 \cdot 10^{-4}$ — $100 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$ — $50 \cdot 10^{-4}$
$10 \cdot 10^{-3}$ — $100 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$ — $50 \cdot 10^{-3}$
$10 \cdot 10^{-2}$ — $100 \cdot 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-2}$ — $50 \cdot 10^{-2}$
$10 \cdot 10^{-1}$ — $100 \cdot 10^{-1}$	$10 \cdot 10^{-1}$ — $50 \cdot 10^{-1}$
$10 \cdot 1$ — $100 \cdot 1$	$10 \cdot 1$ — $50 \cdot 1$

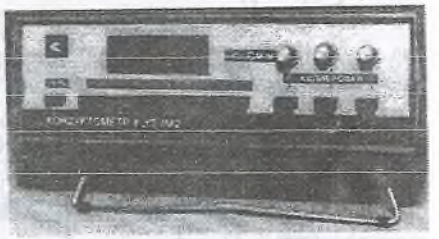
ხელსაწყოს ჩვენებათა ინდიკაცია ციფრულია სიმ/მ ერთეულებში. უმცროსი თანრიგის მნიშვნელობაა 0,1.

ძირითადი დაყვანილი ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარია ±1% თითოეული დიაპაზონის მაქსიმალური მნიშვნელობიდან. ხელსაწყოს ჩვენებათა უდიდესი დასაშვები ცვლილება გასაზომი გარემოს ტემპერატურის ცვლილებისას 20-დან 80°C-მდე ყოველ 10°C-ზე არ უნდა

აღემატებოდეს ძირითადი დაყვანილი ცდომილების დასაშვები ზღვრის 0,5-ს.

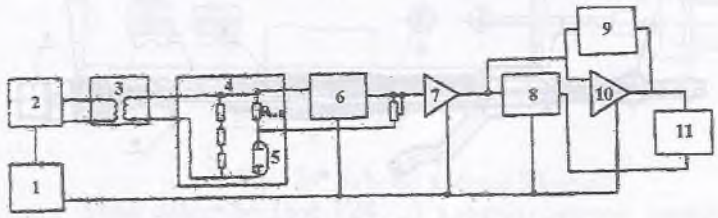
ხელსაწყოს გახურების დრო — 30 წუთი, ერთჯერადი გაზომვის ხანგრძლივობა—20 წმ.

ხელსაწყოს კვება —ცვლადი დენის წრედიდან ძაბვით (220^{+22}_{-33}) ვ, სიხშირით (50±1)ჰც, მოხმარებული სიმძლავრე — 8 ვატი.



ნახ.121. ციფრული КЭЛ-1М2 ტიპის კონდუქტომეტრის საერთო ხედი

ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი განვიხილოთ 122-ე ნახაზზე გამოსახული ფუნქციური სქემის მიხედვით. ხელ-



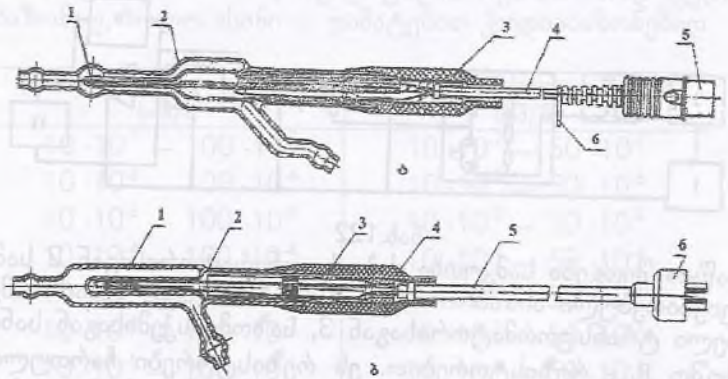
ნახ.122

საწყო შედგება სამკუთხა ძაბვის გენერატორისაგან 2 სამი ფიქსირებული სიხშირით (30, 300, 3000 ჰც), შემათანხმებელი ტრანსფორმატორისაგან 3, საზომი სქემისაგან სანიმუშო $R_{სან}$ რეზისტორებით. ეს რეზისტორები ჩართულია პირველადი საზომი გარდამქმნელის 5 მიმდევრობით. ძაბვის ვარდნა სანიმუშო რეზისტორზე მიეწოდება შემათანხმებელი მაძლიერებლის 6 შესავალს. შემათანხმებელი მაძლიერებლის გამოსავალიდან სიგნალი მიეწოდება მილივოლტმეტრის 7 შესავალს, შემდეგ ანალოგურ-ციფრულ გარდამქმნელს 8 და თერმოკომპენსაციის მაძლიერებელს 10. ხელსაწყოს ბლოკი 9 უზრუნველყოფს ტემპერატურული კოეფიციენტის ავტომატურ დაყენებას, ბლოკი 11 წარმოადგენს ტემპერატურულ გარდამქმნელს. კვების

ბლოკი 1 უზრუნველყოფს სქემის დანარჩენი ბლოკების ნორმალურ მუშაობას.

კონსტრუქციულად ხელსაწყო შედგება სამი ბლოკისაგან: პირველადი, ტემპერატურული და საზომი გარდამქმნელებისაგან.

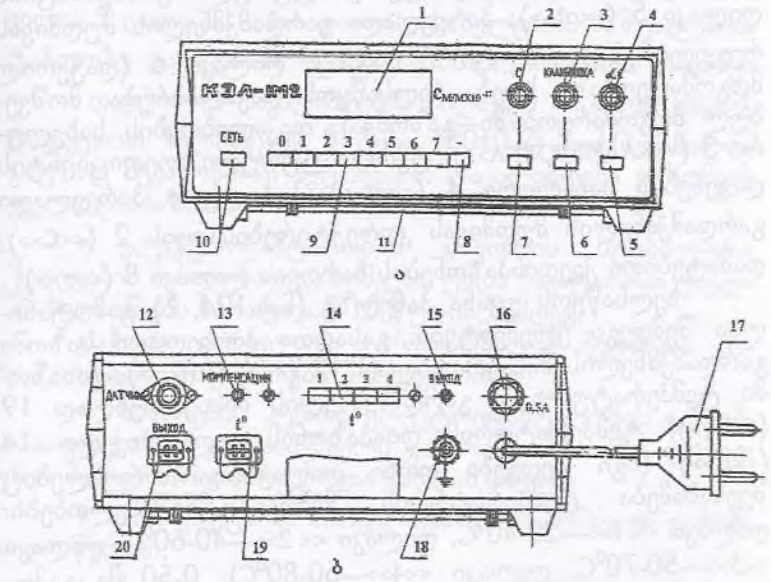
პირველადი საზომი გარდამქმნელი სამელექტროდიანია (ნახ.123, ა) გამდინარე-ჩაძირვის ტიპისა. საზომი გარდამქმნელის კორპუსი 2 დამზადებულია ქიმიურად მედეგი მინისაგან და ელექტროდების სახით გამოყენებულია მინის ცილინდრში მჭიდროდ დახვეული პლატინის მავთული. გამომყვანები ჩალუობილია მინაში და გამოყვანილია გარეთ. გამომყვანების მხრიდან დაყენებულია ლითონის ძილისი 3 კაბელის 4 დამაგრებისათვის და პლასტმასის სახელურო. პირველადი გარდამქმნელი უერთდება საზომ გარდამქმნელს კოაქსიალური კაბელით გასართით 5.



ნახ.123. პირველადი და ტემპერატურული გარდამქმნელები

ტემპერატურული გარდამქმნელი (ნახ.123,ბ) კონსტრუქციულად მსგავსია პირველადი საზომი გარდამქმნელისა. იგი შედგება მინის გარსაცმისაგან 2, რომლის შიგნითაც განლაგებულია თერმორეზისტორი 1. ამ უკანასკნელის გამომყვანები დამაგრებულია ლითონის მილისაზე 3, რომელზეც ჩამოცმულია პლასტმასის სახელურო 4. ხელსაწყოსთან მისაერთებლად მგრძნობიარე ელემენტს აქვს კაბელი 5 და გასართი 6.

საზომი გარდამქმნელი (ნახ.124) მოთავსებულია პლასტმასის კორპუსში.



ნახ.124. საზომი გარდამქმნელი

წინა პანელზე (ნახ.124, ა) განლაგებულია: ციფრული ტაბლო 1, რომლის ჩვენებები გამოსახულია სიმ/მ ერთეულებში; გაზომვის ქვედიაპაზონის გადამრთველი 9, რომელსაც აქვს რვა ღილაკი გაზომვის ქვედიაპაზონების შემდეგი მნიშვნელობებით:

<<0>> შეესაბამება 10 ·1 — 100 ·1
<<1>> ——— 10 ·10^{-1} — 100 ·10^{-1}
<<2>> ——— 10 ·10^{-2} — 100 ·10^{-2}
<<3>> ——— 10 ·10^{-3} — 100 ·10^{-3}
<<4>> ——— 10 ·10^{-4} — 100 ·10^{-4}
<<5>> ——— 10 ·10^{-5} — 100 ·10^{-5}
<<6>> ——— 10 ·10^{-6} — 100 ·10^{-6}
<<7>> ——— 10 ·10^{-7} — 100 ·10^{-7}

წინა პანელზე აგრეთვე გვაქვს: ხელსაწყოს ჩართვის ღილაკი 10 (<<СЕТЬ>>); ტემპერატურული კომპენსაციის ღილაკი 5 (<<αt>>); პირველადი გარდამქმნელის მუდმივას რეგულირების ღილაკი 7 (<<C>>); ღილაკი 6 (დაჭერილ მდგომარეობაში ხდება ხელსაწყოს დაკალიბრება, მოშვებულ მდგომარეობაში—გაზომვა); დაკალიბრების სახელური 3 (<<КАЛИБРОВКА>>); ტემპერატურული კოეფიციენტის დაყენების სახელური 4 (<<αt>>); სახელური პირველადი გარდამქმნელის მუდმივას კორექტირებისათვის 2 (<<C>>); დამატებითი ქვედიაპაზონების ჩართვის ღილაკი 8 (<<▬>>);

ხელსაწყოს უკანა პანელზე (ნახ.124, ბ) გამოტანილია შემდეგი ელემენტები: გასართი პირველადი საზომი გარდამქმნელის მისაერთებლად 12 (<<ДАТЧИК>>); გასაზომი ტემპერატურული გარდამქმნელის მისაერთებლად 19 (<<t^0>>); ტემპერატურის დიაპაზონის გადამრთველი 14 (<<t^0>>) (იგი შედგება ოთხი ღილაკისაგან, რომლებიც შეესაბამება ტემპერატურის შემდეგ მნიშვნელობებს: ღილაკი << 1>>—20-40°C, ღილაკი << 2>>—40-60°C, ღილაკი <<3>>—50-70°C, ღილაკი <<4>>—60-80°C); 0-50 მვ გამოსავალი სიგნალის გასართი 20 (<<ВЫХОД>>); გამოსავალი სიგნალის დაყენების პოტენციომეტრი 15 (<<ВЫХОД>>); დამცველი 16; დამიწების კლემა 18 (<< ⏚ >>); ნულის კომპენსაცია 13 (<<КОМПЕНСАЦИЯ>>).

კორპუსის ქვედა ნაწილში არის გადასახსნელი ფეხი 11, რომლის საშუალებითაც ხელსაწყოს აყენებენ ჩვენებების ათვლისათვის მოსახერხებელ მდგომარეობაში.

ხელსაწყოს მომზადება და მისი გამოყენება. ხელსაწყოს სამუშაოდ მომზადება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

- მოვათავსოთ ხელსაწყო სამუშაო ადგილას, დავამიწოთ და ჩავრთოთ ქსელში;
- დავაჭიროთ ქსელის ღილაკს <<СЕТЬ>> საზომი გარდამქმნელის წინა პანელზე; ამ დროს უნდა განათდეს ციფრული ტაბლო;

- ხელსაწყოს მუშაუნარიანობის შემოწმებისათვის მის წინა პანელზე დავაჭიროთ ღილაკს 7 <<C>>, გადამრთველის 9 ღილაკს <<0>> და <<C>> სახელურის საშუალებით ტაბლოზე დავაყენოთ ჩვენება 1000±2. ჩავრთოთ ღილაკი <<C>>, დავაჭიროთ დაკალიბრების ღილაკს 6 <<КАЛИБРОВКА>>, დავაყენოთ ხელსაწყოს ჩვენება (80±0,2) სიმ/მ. ანალოგიურად შევამოწმოთ ხელსაწყოს დაკალიბრება გაზომვის ყველა დიაპაზონზე.
- ელექტროგამტარობის გაზომვის სტაბილური შედეგების მისაღებად გაზომვები უნდა ჩავატაროთ ქსელში ხელსაწყოს ჩართვიდან 10 წუთის შემდეგ;

გაზომვა პირველადი გარდამქმნელის მუდმივას კორექციის გარეშე წარმოებს შემდეგნაირად:

- ხსნარების კუთრი ელექტროგამტარობის გაზომვისათვის საზომ გარდამქმნელს გასართის 12 საშუალებით უნდა მივუერთოთ პირველადი გარდამქმნელი;
- გამოვრეცხოთ პირველადი გარდამქმნელი გამოხდილი წყლით;
- ჩავძიროთ პირველადი გარდამქმნელი გამოსაკვლევ ხსნარში (ხსნარმა უნდა დაფაროს ელექტროდები და მიაღწიოს ზედა მინაზარდის შუა ნაწილს);
- დავაჭიროთ ქვედიაპაზონების გადამრთველის 9 ღილაკს <<1>>, დაკალიბრების ღილაკს 6 <<КАЛИБРОВКА>> და განვახორციელოთ ხელსაწყოს დაკალიბრება;
- გამოვთიშოთ დაკალიბრების ღილაკი მასზე მეორეჯერ ხელის დაჭერით. თუ ხელსაწყოს ჩვენება $(10\pm0,2)\cdot10^{-n}$ სიმ/მ-ზე ნაკლებია, თანმიმდევრობით დავაჭიროთ ქვედიაპაზონების გადართვის შემდგომ ღილაკებს <<2>>, <<3>> და ა.შ. ვიდრე ხელსაწყოს ჩვენება არ გახდება 10 ერთეულზე მეტი. ამის შემდეგ უნდა მოვახდინოთ ხელსაწყოს დაკალიბრება, ხოლო შემდეგ მოვხსნათ ჩვენებები ელექტროგამტარობის ერთეულებში.

მაგალითი. დაჭერილია ღილაკი <<3>>. ხელსაწყოს ჩვენებაა 52. გასაზომი ხსნარის ელექტროგამტარობა ტოლი იქნება 52.10^{-2} სიმ/მ;

იმ შემთხვევაში თუ პირველადი გარდამქმნელის მუდმივა განსხვავდება 0,1 სმ-საგან, კუთრი ელექტროგამტარობის გამოანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულით

$$\gamma = y \cdot \frac{0{,}1}{c}, \qquad (29)$$

სადაც c პირველადი გარდამქმნელის ნამდვილი მუდმივაა (სანტიმეტრებში), რომელიც აღნიშნულია გასართის კორპუსზე;

y — ხელსაწყოს ჩვენება, სიმ;

γ — ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა, სიმ/მ.

მაგალითი. ხელსაწყოს ჩვენებაა $y=52\cdot10^{-2}$ სიმ, პირველადი გარდამქმნელის მუდმივაა c=0,11 სმ, მაშინ

$$\gamma = 52\cdot10^{-2}\frac{0{,}1}{0{,}11} = 52\cdot10^{-2}\cdot 0{,}909 = 47{,}3\cdot10^{-2} \quad (\text{სიმ/მ}).$$

10^{-6} და 10^{-7} სიმ/მ ქვედიაპაზონებზე მუშაობისას (დაჭერილია ღილაკები 6 ან 7) კუთრი ელექტროგამტარობის გაზომვა ავტომატურად ხდება გარდამქმნელის 10 სმ-ის ტოლი მუდმივათი. მაშინ კუთრი ელექტროგამტარობის გამოანგარიშება წარმოებს (29) ფორმულით, მაგრამ კოეფიციენტი 0,1 უნდა შევცვალოთ კოეფიციენტით 10.

თუ პირველადი გარდამქმნელი გამოყენებულია როგორც გამდინარე, საჭიროა მისი შეერთება გასაზომ არესთან რეზინის მილების საშუალებით. ეს მილები გარდამქმნელის ბოლოებზე უნდა ჩამოვაცვათ ისეთნაირად, რომ სითხე პირველად გარდამქმნელში გაედინებოდეს ქვევიდან ზევით.

ისეთ ხსნარებთან მუშაობისას, რომელთა ელექტროგამტარობის დიაპაზონია 10^{-6}-დან 10^{-7} სიმ/მ (ღილაკები <<6>>, <<7>>), აუცილებელია პირველადი გარდამქმნელის დაეკრანება. ამ მიზნით უნდა გამოვიყენოთ ლითონის ჭიქა-ეკრანი, რომელშიც თავსდება სტანდარტული 100 მლ ტევადობის მინის ჭიქა და ტარდება გაზომვა. ჭიქა-ეკრანი მიერთებულია ხელსაწყოს კორპუსზე განლაგებულ დამიწების << ⏚ >> მომჭერთან.

პირველადი გარდამქმნელის მუდმივას კორექტორთან მუშაობა. პირველადი გარდამქმნელის მუდმივებს შეიძლება ჰქონდეს 25%-იანი გაბნევა საანგარიშო 0,1 და 10,0 სმ მნიშვნელობებიდან. მაგალითად, პირველად გარდამქმნელებს შეიძლება ჰქონდეს მუდმივები 0,085 ან 0,115 სმ და 8,5 ან 11,5 სმ. თუ არ იქნება მიღებული სპეციალური ზომები, მაშინ გამოანგარიშება (29) ფორმულით სწორ შედეგს არ მოგვცემს.

პირველადი გარდამქმნელის მუდმივების შესაძლო გაბნევის კომპენსაციისათვის ხელსაწყოს გააჩნია პირველადი გარდამქმნელის მუდმივას კორექტორი. მისი ჩართვისათვის უნდა დავაჭიროთ ღილაკს 5, ტაბლოზე განათდება ციფრები. სახელურის 2 შემობრუნებით ტაბლოზე დავაყენოთ პირველადი გარდამქმნელის გასართის კორპუსზე ნაჩვენები გარდამქმნელის გეომეტრიული მუდმივას შესაბამისი ციფრები. მოვუშვათ ღილაკი 5 და გავაგრძელოთ მუშაობა.

0,1 სმ ტოლი მუდმივას შემთხვევაში ჩვენება იქნება 1000±3; 0,085 სმ — 0085±15; 0,115 სმ — 0115±15. შესაბამისად 10^{-6} და 10^{-7} ქვედიაპაზონებზე (დაჭერილია ღილაკები <<7>> ან <<8>>) ჩვენებები იქნება 10,00±0,15; 08,50±0,15 და 11,50±0,15.

ტემპერატურული კომპენსაციის სქემასთან მუშაობა წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით:

- გავზომოთ ხსნარის ელექტროგამტარობა გაზომვის საწყის ტემპერატურაზე;
- მივუერთოთ ტემპერატურის გარდამქმნელი საზომ ბლოკს გასართით 19;
- მოვათავსოთ ტემპერატურის გარდამქმნელი საზომ არეში;
- დავაყენოთ ტემპერატურის დიაპაზონის გადამრთველი 14 იმ ზღვრებზე, რომლებიც შეესაბამება ხსნარის ტემპერატურას;
- დავაჭიროთ ღილაკს 5 <<at>>;
- გავაცხელოთ ხსნარი გაზომვის ზედა ტემპერატურამდე და 10 წუთის შემდეგ სახელურით 4

(<<αt>>) დავაყენოთ ტაბლოზე გაზომვის საწყისი ტემპერატურის შესაბამისი ჩვენება.

მაგალითი. ხსნარის ტემპერატურა ცვალებადობს 40-დან 60 °C-მდე. 40 °C ტემპერატურის დროს ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა ტოლია 60 სიმ/მ. დავაჭიროთ ტემპერატურის დიაპაზონის გადამრთველის 14 ღილაკს <<2>>. ხსნარის ტემპერატურა გავზარდოთ 60°C-მდე და თერმოსტატში ამ ტემპერატურის 5 წუთის განმავლობაში შენარჩუნების შემდეგ სახელურით 4 (<<αt>>) დავაყენოთ ხელსაწყოს ჩვენება (60±0,2) სიმ/მ. ამ შემთხვევაში უზრუნველყოფილი იქნება ხსნარის ტემპერატურული კოეფიციენტის კორექტირება და ხელსაწყოს ჩვენებათა თერმოკომპენსაციის შესაძლებლობა ხსნარის ტემპერატურის ცვლილებისას 40-დან 60°C-მდე.

მუშაობა ხელსაწყოსთან $(10\text{-}50)\cdot10^{-n}$ სიმ/მ დიაპაზონში. იმ შემთხვევაში, თუ სითხის კუთრი ელექტროგამტარობის მნიშვნელობა 10-დან 50-მდე ერთეულის ფარგლებშია, შეგვიძლია ავამაღლოთ ათვლის სიზუსტე. ამისათვის უნდა გადავიდეთ $(10\text{-}50)\cdot10^{-n}$ სიმ/მ დიაპაზონზე, სადაც n=0,1,2,3,4,5,6,7 ღილაკზე 8 (<<->>) დაჭერით. ასეთ შემთხვევაში ხელსაწყოს ჩვენება უნდა გაიყოს ორზე.

მაგალითი. დაჭერილია ღილაკი 8 <<->>, ხელსაწყო გვიჩვენებს $\left[(46\pm0,2)\cdot10^{-2}\right]$ სიმ/მ, მაშინ ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა ტოლი იქნება

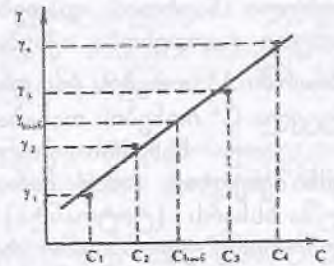
$$\left[(46\pm0,2):2\right]\cdot10^{-2}=(23\pm0,1)\cdot10^{-2}\ \text{სიმ/მ}.$$

თუ მუშაობა წარმოებს ტემპერატურული კომპენსაციის გარეშე, სახელური <<αt>> უნდა იყოს შუა მდგომარეობაში.

ელექტროლიტების გამტარობის მათ კონცენტრაციაზე დამოკიდებულება გამოიყენება კონდუქტომეტრულ ანალიზში ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის გარდამქმნელის ელექტროდთაშორის სივრცეში ელექტროგამტარობის გაზომვის შედეგების მიხედვით.

ნივთიერების კონდუქტომეტრული რაოდენობითი განსაზღვრა დაიყვანება ხსნარის ელექტროგამტარობის მის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების საგრადუირებელი გრაფიკის აგებაზე წინასწარ ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების მიხედვით. ამ დამოკიდებულებას კონცენტრაციის გარკვეულ შეზღუდულ დიაპაზონში წრფის სახეც

შეიძლება ჰქონდეს (ნახ.125). საანალიზო ხსნარის ელექტროგამტარობის გაზომვის შემდეგ საგრადუირებელი გრაფიკით შეგვიძლია განვსაზღვროთ საანალიზო ნივთიერების შემცველობა $c_{საან}$.



ნახ.125

კონდუქტომეტრული ანალიზის ზემოთ განხილული პირდაპირი კონდუქტომეტრული ხერხის გარდა ცნობილია: კონდუქტომეტრული ტიტვრა, ქრონოკონდუქტომეტრია, მაღალსიხშირული კონდუქტომეტრული ტიტვრა.

კონდუქტომეტრული ტიტვრის მეთოდი

კონდუქტომეტრული ტიტვრის ქვეშ იგულისხმება ელექტრომოცულობითი ანალიზის ისეთი რაოდენობითი მეთოდი, რომლის დროსაც ეკვივალენტურობის წერტილი განისაზღვრება ხსნარის ელექტროგამტარობის მიხედვით.

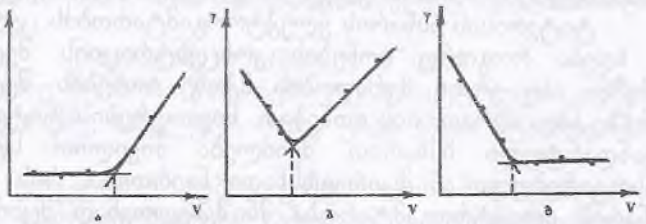
ტიტვრისას ხსნარის ელექტროგამტარობის ცვლილება ხდება როგორც იონების კონცენტრაციის შეცვლის ხარჯზე, ისე ერთი ძვრადობის მქონე იონების შეცვლის ხარჯზე სხვა ძვრადობის იონებით. ნივთიერების ტიტვრისას სტანდარტული ხსნარით შეიძლება მივიღოთ სუსტად დისოცირებული ან მცირედხსნადი ნაერთები, რის გამოც ხსნარის ელექტროგამტარობა მნიშვნელოვნად მცირდება. ტიტვრის საბოლოო წერტილი ამ დროს შეესაბამება ელექტროგამტარობის მინიმუმს კონდუქტომეტრული ტიტვრის მრუდზე. რეაგენტის შედგომი დამატება იწვევს ელექტროგამტარობის ზრდას, რაც მიუთითებს ტიტვრის დასასრულზე.

დავუშვათ, მაგალითად, რომ A^+ და B^- იონების შემცველი განზავებული ელექტროლიტის ხსნარს უმატებენ ტიტრანტის კონცენტრირებულ ხსნარს—ისეთივე ძლიერად დისოცირებულ ელექტროლიტს C^+ და D^- იონებით, რომლებიც რეაგირებს პირვანდელ ხსნართან განტოლებით

$$(A^{+}+B^{-})+(C^{+}+D^{-})=AD+B^{-}+C^{+},$$

სადაც AD ძნელად ან მცირედ ხსნადი ან არადისოცირებული ნაერთია. დადებითი და უარყოფითი იონების ჯამური რაოდენობა იქნება ყოველთვის ერთნაირი: ხდება ხსნარში A^{+} იონების ბმა დამატებულ D^{-} იონებთან და მათი შეცვლა C^{+} იონების თანაბარი რაოდენობით.

თუ ხსნარის მოცულობა ტიტვრისას იცვლება უმნიშვნელოდ (ამას მართლაც აქვს ადგილი, ვინაიდან მუშა ხსნარს (ტიტრანტს) იღებენ 10-100-ჯერ უფრო კონცენტრირებულს, ვიდრე სატიტრს), კატიონებისა და ანიონების ჯამური კონცენტრაციაც არ შეიცვლება. ამასთან, თუ A^{+} იონების ძვრადობა C^{+} იონების ძვრადობის ტოლია, საკვლევი ხსნარის ელექტროგამტარობა არ შეიცვლება ვიდრე არ იქნება დამატებული CD ხსნარის სიჭარბე. ამ მომენტიდან აღარ მოხდება დამატებული D^{-} იონების ბმა. D^{-} და C^{+} იონების რაოდენობა CD ხსნარის შემდგომი დამატებისას სულ გაიზრდება და ელექტროგამტარობა გაიზრდება (ნახ.126,ა).



ნახ.126. კონდუქტომეტრული ტიტვრის მრუდები

თუ A^{+} ძვრადობა მეტია C^{+} ძვრადობაზე, ტიტრანტის დამატებისას უფრო მოძრავი A^{+} კატიონების მეტი რაოდენობა გაჭრება D^{-} ანიონებთან შეერთებისას და მოხდება უფრო მოძრავი A^{+} კატიონების ჩანაცვლება მცირე სიჩქარით მოძრავი C^{+} კატიონებით. ელექტროგამტარობა ამის გამო მკვეთრად მცირდება თვით ეკვივალენტურობის

წერტილამდე, სანამ უკანასკნელი სწრაფი A^{+} კატიონები არ იქნება ჩანაცვლებული ნელი C^{+} კატიონებით. CD ტიტრანტის შემგომი დამატებისას დამატებული D^{-} იონები უკვე ველარაფერს ებმებიან, D^{-} და C^{+} იონების რაოდენობა თანდათან მატულობს და ელექტროგამტარობა იზრდება (ნახ.126,ბ).

ძლიერი ტუტის ძლიერი მჟავით ტიტვრისას შეგვიძლია მივიღოთ 126, გ ნახაზზე გამოსახული ტიტვრის მრუდიც.

კონდუქტომეტრული ტიტვრის მრუდი შეგვიძლია მივიღოთ დამატებული ტიტრანტის G-V (ან R-V, ან γ-V) კოორდინატებში. ტიტვრისას ელექტროგამტარობის განსაზღვრისათვის იყენებენ კონდუქტომეტრებს.

თუ ტიტვრისას წარმოებს გამტარობის დისკრეტული გაზომვა, ეკვივალენტურობის წერტილის მოსაძებნად საკმარისია დავიტანოთ გრაფიკზე გამტარობის 3-4 მნიშვნელობა ეკვივალენტურობის წერტილამდე და მის შემდეგ. მოძებნილ წერტილებზე ატარებენ ორ წრფეს მათ გადაკვეთამდე; აბსცისათა ღერძზე გადაკვეთის წერტილის პროექცია პასუხობს ეკვივალენტურობის წერტილს.

ძლიერი მჟავების შემცველობის კონდუქტომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა: უჯრედის გამოყენებამდე უნდა მოვახდინოთ ელექტროდების პლატინირება და უჯრედის მუდმივას განსაზღვრა.

ელექტროდების პლატინირება ხდება შემდეგნაირად: ამზადებენ ხსნარს, რომელიც შეიცავს ქლორპლატინმჟავას 3%-ს და ტყვიის აცეტატის 0,03%-ს. ჭურჭელში ხსნარს ასხამენ ისეთნაირად, რომ ელექტროდები დაიფაროს მთლიანად და ატარებენ 20...30 მა/სმ^2 სიმკვრივის დენს. ყოველი წუთის შემდეგ ცვლიან დენის მიმართულებას. პლატინირებას ახდენენ 5...10 წუთის განმავლობაში. ელექტროდები უნდა დაიფაროს პლატინის სევადის თანაბარი ფენით. შემდეგ ელექტროდებს გამორეცხავენ წყლით და ინახავენ ჭურჭელში გამოხდილი წყლით.

ელექტროლიტური უჯრედის მუდმივას განსაზღვრას ახდენენ *KCl*-ის 1 ნ და 0,1 ნ ხსნარების გამოყენებით ზემოთ აღწერილი მეთოდიკით.

სამუშაოს შესრულება. ბიურეტს ავსებენ *NaOH*-ის 1 ნ სტანდარტული ხსნარით. საზომ კოლბაში ამზადებენ საანალიზო მჟავას ხსნარს (~0,1ნ). ამ ხსნარის ალიქვოტური ნაწილი გადააქვთ პიპეტით კონდუქტომეტრის უჯრედში და ტიტრავენ *NaOH*-ის სტანდარტული ხსნარით. *NaOH*-ის ყოველი პორციის დამატების შემდეგ ხსნარს ურევენ

ძაგნიტური სარევით, ზომავენ ელექტროგამტარობას (კუთრ ელექტროგამტარობას).

ტიტვრის დროს განზავებით გაპირობებული გაზომვის ცდომილების შესამცირებლად იყენებენ ტიტრანტს, რომლის კონცენტრაცია 10-ჯერ აღემატება საანალიზო ხსნარის კონცენტრაციას, ან შემოაქვთ შემასწორებელი კოეფიციენტი: $A=(V_0+V)/V_0$, სადაც V_0 ტიტვრისათვის აღებული ხსნარის საწყისი მოცულობაა, სმ^3; V — დამატებული ტიტრანტის მოცულობა, სმ^3. შემდეგ ელექტროგამტარობა დაჰყავთ საწყის მოცულობაზე: $G'=A\cdot G$, სადაც G' ხსნარის დაყვანილი ელექტროგამტარობაა. მიღებული მონაცემებით აგებენ კონდუქტომეტრული ტიტვრის გრაფიკს და საზღვრავენ ეკვივალენტურობის წერტილს ტიტვრის მრუდის მკვეთრი გადაღუნვის მიხედვით. მჟავას შემცველობის გამოთვლას გრამებში ახდენენ ფორმულით

$$q=N_ტ\cdot V_ტ\cdot E_{საან}\cdot W_{საან}/(1000V_{საან})= N_{საან}\cdot E_{საან}\cdot W_{საან}/1000\,, \qquad (30)$$

სადაც $N_ტ$ ტიტრანტის ნორმალურობაა;

$V_ტ$ — დახარჯული ტიტრანტის მოცულობა, სმ^3;

$E_{საან}$ — საანალიზო ნივთიერების გრამ-ეკვივალენტი;

$W_{საან}$ — საანალიზო ხსნარის მოცულობა, რომელშიც გვაინტერესებს შემცველობა, სმ^3;

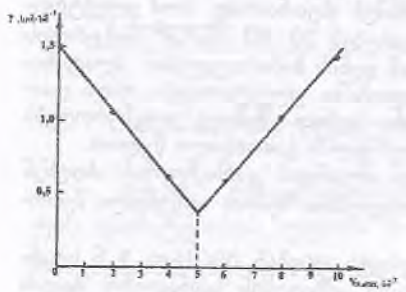
$V_{საან}$ —საანალიზო ხსნარის მოცულობა, რომელსაც ვტიტრავთ, სმ^3;

$N_{საან}$ — საანალიზო ხსნარის ნორმალურობა.

მაგალითი. *HCl*-ის 50 სმ^3 ტიტვრისას 0,01 ნ *NaOH*-ით მიღებულია შემდეგი შედეგები

V_{NaOH}, სმ^3	... 0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
γ, სიმ·სმ$^{-1}$	... 1,50	1,09	0,67	0,63	0,99	1,35

განვსაზღვროთ *HCl*-ის ნორმალურობა და მისი მასა გრამებში ხსნარის 500 სმ^3-ში.



ნახ.127

ამოხსნა: ვაგებთ კონდუქტომეტრული ტიტვრის გრაფიკს და ამ გრაფიკის მიხედვით ვსაზღვრავთ ეკვივალენტურობის წერტილს, რომელიც ტოლია 0,01 ნ *NaOH*-ის 5,0 სმ^3-ისა. *HCl*-ის ხსნარის ნორმალურობას მივიღებთ შემდეგი ფორმულით

$$N_{HCl} = N_{NaOH}\cdot V_{NaOH} / V_{HCl} = 0{,}01\cdot 5{,}0/50=0{,}001(ნ)\,,$$

შემცველობა გრამებში 0,5 ლიტრში იქნება

$$q=0{,}001\cdot(36{,}5/1)\cdot 500/1000= 0{,}01825(გ)\,.$$

ნარევში ძლიერი და სუსტი მჟავების განსაზღვრის მეთოდიკა

განვიხილოთ გოგირდმჟავასა (H_2SO_4) და ძმარმჟავას (CH_3COOH) ნარევის მაგალითზე. ბიურეტს ავსებენ *NaOH*-ის 1 ნ სტანდარტული ხსნარით. 100 სმ^3 ტევადობის საზომ კოლბაში ამზადებენ საანალიზო მჟავების ნარევის ხსნარს (0,1 და 0,55 ნ შესაბამისად). ნარევის ალიქვოტურ ნაწილს ტიტრავენ კონდუქტომეტრული ტიტვრისათვის განკუთვნილ ჭურჭელში *NaOH*-ის 1 ნ ხსნარით. ნარევის ტიტვრის მრუდს აქვს ორი ტეხილი, ერთი მათგანი შეესაბამება გოგირდმჟავას, მეორე—ძმარმჟავას ეკვივალენტურობის წერტილებს. შემცველობის გამოანგარიშებას ატარებენ ისევე, როგორც ძლიერი მჟავების შემცველობის კონდუქტომეტრული განსაზღვრის დროს.

თუ ელექტროლიტური ჭურჭელი მუშაობს ავტომატურ ხიდთან ერთად, კონდუქტომეტრული ტიტვრის მრუდები შეიძლება გამოიხაზოს თვითმწერით.

კონდუქტომეტრული ტიტვრისას ეკვივალენტურობის წერტილი განისაზღვრება ჩვეულებრივ 0,5...1%-ის სიზუსტით. ტემპერატურის ცვლილება არსებითად მოქმედებს ელექტროგამტარობაზე (2,5% 1 ^{0}C-ზე), ამიტომ ტიტვრის დროს უნდა შევინარჩუნოთ მუდმივი ტემპერატურა, მივიღოთ ზომები ტემპერატურული ცდომილების კორექციისათვის.

კონდუქტომეტრული ტიტვრის მეთოდებისათვის დამახასიათებელი ნაკლოვანებები (მაგალითად, პოლარიზაცია) და ელექტროდების ელექტროგამტარობის შეცვლა მათზე დალექვის მეთოდით ტიტვრისას მყარი ნაწილაკების დალექვის გამო შეგვიძლია ავიცილოთ *მაღალსიხშირული ტიტვრის* მეთოდის გამოყენებით. თუ კონდუქტომეტრული ტიტვრისას ელექტროდები ჩაძირულია გამოსაკვლევ ხსნარში, მაღალსიხშირული ტიტვრისას ელექტროდები განლაგებულია ელექტროლიზერის გარეთ მის კედლებთან. ამ დროს ცვლადი დენის სიხშირემ უნდა მიაღწიოს რამდენიმე მეგაჰერცს. ჭურჭლის კონსტრუქციის ასეთი შეცვლა აღარ მოითხოვს პლატინის ძვირადღირებულ ელექტროდებს. მაღალსიხშირული მეთოდი ფართოდ გამოიყენება მჟავების, ტუტეების, მჟავების ნარევის და ტუტეების ნარევის განსაზღვრისათვის სხვადასხვა გარემოში.

კონდუქტომეტრული ტიტვრის ნაირსახეობას წარმოადგენს ქრონოკონდუქტომეტრული ტიტვრა, რომლის დროსაც ტიტრანტს უმატებენ საანალიზო ხსნარს მუდმივი

სიჩქარით. საანალიზო ნივთიერების რაოდენობას ადგენენ იმ დროის მიხედვით, რომელიც აუცილებელია კონდუქტომეტრული ტიტვრისათვის.

2.2.2. ანალიზის ოპტიკური მეთოდები

ნივთიერებათა მცირე შემცველობის (პროცენტის მეათიათასედი ნაწილები) განსაზღვრისათვის გამოიყენება ანალიზის ოპტიკური მეთოდები.

ლაბორატორიულ პრაქტიკაში ფართო გავრცელება პოვა აბსორბციულმა სპექტრულმა ანალიზმა (დაფუძნებულია საანალიზო ნივთიერებათა შთანთქმის სპექტრის დაკვირვებაზე) და ემისიურმა სპექტრულმა ანალიზმა (დაფუძნებულია საანალიზო ნივთიერებათა გამოსხივების ანუ ემისიური სპექტრების შესწავლაზე).

აბსორბციულ ანალიზში ძირითადად იხილავენ სპექტროფოტომეტრულ და ფოტომეტრულ მეთოდებს.

სპექტროფოტომეტრია დაფუძნებულია საანალიზო ნივთიერების მიერ გარკვეული ტალღის სიგრძის სინათლის შთანთქმაზე, ე.ი. მონოქრომატული გამოსხივების შთანთქმაზე.

ფოტომეტრული მეთოდი დაფუძნებულია საანალიზო ნავთიერების მიერ არამონოქრომატული გამოსხივების სინათლის შთანთქმის გაზომვაზე.

აბსორბციულ სპექტროსკოპიას სპექტროფოტომეტრული და ფოტომეტრული მეთოდების გარდა მიაკუთვნებენ *კოლორიმეტრიას, ნეფელომეტრიას და ტურბიდიმეტრიას*. იხილავენ აგრეთვე *ალიან ფოტომეტრიას* (დაფუძნებულია ალით გახურებული ნივთიერების აგზნებული ატომების გამოსხივების ინტენსიურობის გაზომვაზე და ლუმინესცენციურ (ფლუორესცენციურ) ანალიზს (დაფუძნებულია ულტრაიისფერი დასხივებისას საანალიზო ნივთიერებათა ლუმინესცენციის გაზომვაზე).

2.2.2.1. კოლორიმეტრული ანალიზი

კოლორიმეტრია წარმოადგენს აბსორბციული სპექტრული ანალიზის ერთ-ერთ ყველაზე მარტივ მეთოდს. იგი დაფუძნებულია შეფერილ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციასა და ამ ხსნარით შთანთქმული სინათლის რაოდენობას შორის დამოკიდებულებაზე. ეს დამოკიდებულება მონოქრომატული გამოსხივებისათვის გამოისახება (კონცენტრაციათა გარკვეულ არეში) ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონით:

$$I=I_0 \cdot e^{-\kappa cl} \quad , \qquad (31)$$

სადაც I შთამნთქმელ გარემოში გასული სინათლის ინტენსიურობაა, I_0—ვარდნილი სინათლის ინტენსიურობა, l—ხსნარის შრის სისქე (სანტიმეტრებში), c—მშთანმთქმელი ნივთიერების კონცენტრაცია (მოლი/გ), κ—გარკვეული სიგრძის ტალღის სხივებისათვის მუდმივი სიდიდე. გალოგარითმების შემდეგ განტოლება (31) მიიღებს სახეს:

$$\ln (I_0/I)= \kappa cl=D, \qquad (32)$$

სადაც D ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივეა. ბოლო გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ სიდიდე D პირდაპირპროპორციულია ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციისა და ხსნარის შრის სისქისა.

ასხვავებენ კოლორიმეტრიის სუბიექტურ (ვიზუალურ) და ობიექტურ (ფოტოკოლორიმეტრულ) მეთოდებს.

პირველ შემთხვევაში ოპტიკურ სიმკვრივეს საზღვრავენ საკვლევი ხსნარის შეფერილობის შედარებით იგივე ნაერთის ცნობილი კონცენტრაციების სტანდარტული (ეტალონური) ხსნარების შეფერილობებთან. სუბიექტური შეცდომები ამ შემთხვევაში დაკავშირებულია ექსპერიმენტატორის მხედველობის ორგანოების ნაკლოვანებებთან (მხედველობის ორგანოების პათოლოგიური მდგომარეობა, თვალის გადაღლა).

ვინაიდან შეფერილი ნივთიერების შემცველი ხსნარის შეფერილობის ხარისხი დამოკიდებულია მის კონცენტრაციაზე (იზრდება გახსნილი შეფერილი ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად) და შეფერილი ნივთიე-

რების ხსნარის სისქეზე (შეფერილობის ხარისხი იზრდება შრის სისქის ზრდასთან ერთად), ვიზუალურ კოლორიმეტრიაში c_2 კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარის შრის l_2 სისქის შეცვლით აღწევენ ისეთივე შეფერილობას, რომელსაც გვაძლევს საძიებელი c_1 კონცენტრაციის საკვლევი ხსნარი (ხსნარების ერთნაირი ოპტიკური სიმკვრივის დროს) $\kappa c_1 l_1 = \kappa c_2 l_2$, მაშასადამე

$$c_1 l_1 = c_2 l_2 . \qquad (33)$$

თუ ვიცით შესადარებელი ხსნარებიდან ერთ-ერთის კონცენტრაცია (მაგალითად, c_2), ადვილად გამოვითვლით მეორესაც: $c_1 = c_2 l_2/l_1$. განტოლება (33) (ბერის განტოლება) წარმოადგენს ძირითად განტოლებას კოლორიმეტრიისათვის ხელსაწყოების — კოლორიმეტრების კონსტრუირებისა და კოლორიმეტრული ანალიზის შესრულებისათვის.

კოლორიმეტრიის ობიექტურ მეთოდებში — ფოტოკოლორიმეტრიაში შესადარებელი ხსნარების შრის სისქე უნდა იყოს უცვლელი ($l_1 = l_2$) და მას არ ზომავენ; იზომება ორივე ხსნარში შემავალი სინათლის ინტენსიურობა I_0 და ერთი და მეორე ხსნარებიდან გამომავალი სინათლის ინტენსიურობები I_1 და I_2 (ფოტოელემენტის დენის ძალის მიხედვით). სამართლიანია

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{c_1}{c_2} , \qquad (34)$$

სადაც $D=\ln(I_0/I)$ ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივეა. თუ გვეცოდინება შესადარებელი ხსნარებიდან ერთ-ერთის კონცენტრაცია, ადვილად გამოვითვლით მეორესაც: $c_1 = D_1 \cdot c_2 / D_2$.

ბერის კანონი $c_1 l_1 = c_2 l_2$, აგრეთვე ფოტოკოლორიმეტრიის ფორმულები $D_1 : D_2 = c_1 : c_2$ სამართლიანია მხოლოდ მაშინ, როდესაც c_1 დიდად არ განსხვავდება c_2-საგან. ამას ვაღწევთ ამა თუ იმ ხსნარის შესაბამისი განზავებით. კოლორიმეტრიისათვის ჩვეულებრივ გამოიყენება თეთრი სინათლე, ხოლო ფოტოკოლორიმეტრიისათვის შუქფილტრები, რომლებიც გამოყოფენ თეთრი სინათლის სპექტრის მეტ ან ნაკლებ ნაწილს. როგორც ერთ ისე მეორე

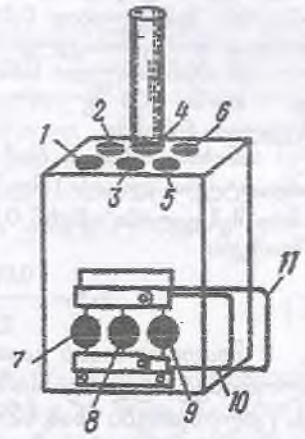
შემთხვევაში სინათლე არაა მონოქრომატული, მაგრამ კოლორიმეტრიისა და ფოტოკოლორიმეტრიის ძირითადი კანონზომიერებები მნიშვნელოვან წილად ძალაშია ამ შემთხვევაშიაც.

კოლორიმეტრიაში გამოყენებული მოწყობილობები

კოლორიმეტრიის გამოყენებული მეთოდების მიხედვით საქმე გვაქვს სხვადასხვა მოწყობილობებსა და ხელსაწყოებთან.

სტანდარტული სერიების (შეფერილობათა სკალის) მეთოდის შემთხვევაში საანალიზო ხსნარს ადარებენ სტანდარტული ხსნარების სერიასთან. ამისათვის იღებენ რამდენიმე (10-15) ერთნაირი ფორმისა და ზომის სინჯარას ან საზომ კოლბას უფერული მინისაგან. ამ ჭურჭლებში ათავსებენ სტანდარტულ ხსნარებს, რომელთა კონცენტრაცია განსხვავდება ერთმანეთისაგან 10-15 %-ით.

თუ საანალიზო ხსნარის შეფერილობა იდენტურია რომელიმე სტანდარტული ხსნარის შეფერილობისა, თვლიან, რომ მათი კონცენტრაცია ერთნაირია. იმ შემთხვევაში, როდესაც საანალიზო ნივთიერების ხსნარის შეფერილობა იმყოფება ორი უახლოესი სტანდარტული ნიმუშის შეფერილობებს შორის, მისი კონცენტრაცია გამოითვლება როგორც საშუალო არითმეტიკული ამ სტანდარტული ნიმუშების კონცენტრაციისა, ან ამზადებენ ახალ სტანდარტულ სერიას კონცენტრაციების ამ ინტერვალში. აღწერილი მეთოდით კოლორიმეტრირებისათვის გამოიყენება კომპარატორი (ნახ.128). მის ერთ ბუდეში ათავსებენ სინჯარას საანალიზო ხსნარით, ხოლო მეზობელ ბუდეებში სინჯარებს სტანდარტული ხსნარებით.



ნახ.128. კომპარატორი:
1-6—ბუდეები სინჯარებისათვის;
7-9—ჰორიზონტალური ნახვრეტები დაკვირვებისათვის;
10-11—შუქფილტრები

სტანდარტული სერიების მეთოდის ნაკლია ის, რომ ზოგიერთი ხსნარის შეფერილობის არამდგრადობის გამო აუცილებელი ხდება სკალის ხშირი განახლება. ამიტომ ზოგჯერ სკალას ადგენენ უფრო მდგრადი ნივთიერებების მაიმიტირებელი ხსნარებით. მაგალითად სილიციუმმჟავას განსაზღვრისას ამონიუმის მოლიბდატის $(NH_4)_2MoO_4$ ზემოქმედებით გამოწვეულ საანალიზო ხსნარის ყვითელ შეფერილობას ადარებენ კალიუმქრომატის K_2CrO_4 სპეციალურად შერჩეული ხსნარების სერიასთან. ზოგჯერ შემოიფარგლებიან სპეციალურად შერჩეული ფერადი მინების ანაწყობითაც.

ზოგჯერ, როდესაც მიღებული ნაერთების შეფერილობა არ იცვლება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, ამზადებენ სტანდარტულ სერიას დარჩილულ სინჯარებში, რაც განსაკუთრებით მოსახერხებელია საველე პირობებისათვის.

მაგალითი. ნივთიერებაში Fe^{3+} შემცველობის განსაზღვრისას აიღეს 2,5 გ წონაკი, გახსნეს, მოამზადეს ანალიზისათვის, დაამატეს ამონიუმროდანიდი NH_4SCN და წითლად შეფერილი ხსნარი განაზავეს 200 მლ-მდე. ანალოგიურად მოამზადეს 10 სტანდარტული ხსნარი ერთ მლ-ში Fe^{3+} შემცველობით 0,01-დან 0,1 მგ-მდე. შედარების შედეგად აღმოჩნდა, რომ გამოსაკვლევი ხსნარის შეფერილობა ყველაზე უფრო ახლოა იმ სტანდარტული ხსნარის შეფერილობასთან, რომელიც შეიცავს 1 მლ-ში 0,05 მგ Fe^{3+}. გამოვიანგარიშოთ Fe^{3+} პროცენტული შემცველობა ნიმუშში.

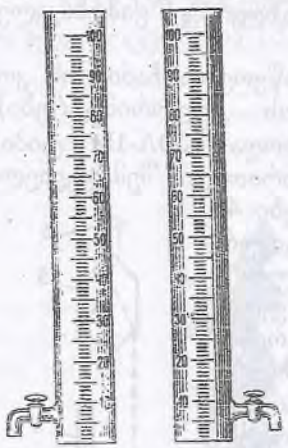
ამოხსნა: ცხადია, რომ გამოსაკვლევი ხსნარი, ისევე როგორც სტანდარტული, შეიცავს 1 მლ-ში Fe^{3+} 0,05 მილიგრამს. მაშინ 200 მლ-ში მისი შემცველობა იქნება: $0,05 \cdot 200 = 10$ მგ, ან 0,01 გ. პროცენტებში ეს შეადგენს

$$Fe,\% = \frac{0,01 \cdot 100}{2,5} = 0,4 .$$

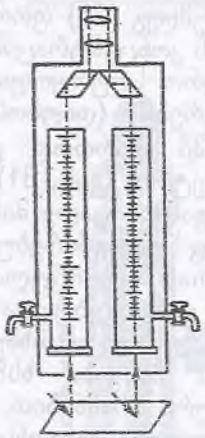
შეფერილობის გათანაბრების მეთოდის შემთხვევაში კოლორიმეტრული განსაზღვრისათვის იყენებენ ე.წ. გენერის ცილინდრებს (ნახ.129) ან კოლორიმეტრებს (ნახ.130). შეფერილ ხსნარებს (სტანდარტულს და გამოსაკვლევს) ამზადებენ საზომ კოლბებში.

გაზომვისას გენერის ერთ-ერთ ცილინდრში ათავსებენ სტანდარტულ ხსნარს, მეორეში—გამოსაკვლევს. წინასწარ თითოეულ ცილინდრს მოავლებენ შესაბამის ხსნარს.

სტანდარტული ხსნარის სვეტის სიმაღლეს ათვლის მოხერხებულობისათვის აყენებენ ზუსტად რომელიმე დანაყოფზე,



ნახ.129. გენერის ცილინდრი



ნახ.130. ჩამოსხმის კოლორიმეტრის სქემა

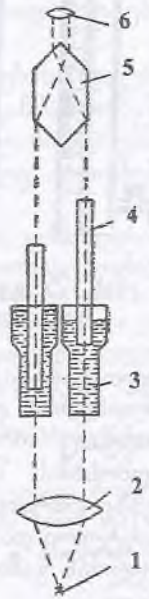
ხოლო გამოსაკვლევ ხსნარს თანდათანობით ასხამენ მშრალ ცილინდრში და ორივე ცილინდრს აკვირდებიან ზემოდან. როდესაც ორივე ხსნარის შეფერილობა გათანაბრდება, გადმოსხმას შეწყვეტენ. ამის შემდეგ გენერის ცილინდრებზე დატანილი დანაყოფების მიხედვით აითვლიან სტანდარტული და გამოსაკვლევი ხსნარების სიმაღლეს და გამოითვლიან გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციას ფორმულით:

$$c_{გამ} = \frac{c_{ст} \cdot h_{ст}}{h_{გამ}} . \qquad (35)$$

ჩამოსხმის კოლორიმეტრის (გენერის კოლორიმეტრის) სქემა ნაჩვენებია 130-ე ნახაზზე. ის შედგება ორი გრადუირებული ცილინდრისაგან ონკანებით. ერთ-ერთში ასხამენ შეფერილ გამოსაკვლევ ხსნარს, მეორეში — სტანდარტულს. მათი შეფერილობის ინტენსიურობას აკვირდებიან ზემოდან ცილინდრების ღერძის გასწვრივ. ცილინდრიდან უფრო ინტენსიური შეფერილობით ონკანით ნელ-ნელა

უშვებენ ხსნარს შეფერილობების გათანაბრებამდე. ცილინდრების სკალების მიხედვით სითხის სვეტების სიმაღლის ათვლის შემდეგ (35) ფორმულით საზღვრავენ გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციას.

უფრო სრულყოფილი ხელსაწყოებია ჩაძირვის კოლორიმეტრები (დიუბოსკის ტიპის კოლორიმეტრები). პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენებოდა КОЛ-1М ტიპის კოლორიმეტრი (ნახ.131). მისი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია გამჭვირვალე მინის ღეროები 4, რომლებიც დაკავშირებულია ოპტიკურ სისტემასთან 5 და ოკულართან 6. ღეროების ქვეშ განლაგებულია მინის კიუვეტები 3, რომლებშიც ჩასხმულია ხსნარები. ღეროების ჩაშვება ხსნარებში ხდება სპეციალური ხრახნებით. სინათლის წყარო 1 იმყოფება კონდენსორის 2 ფოკუსში. ამდენად კონდენსორიდან კიუვეტებს ეცემა სხივების პარალელური კონა. სხივები კიუვეტების ძირის, ხსნარების, ღეროების, ოპრტიკური სისტემის გავლით ხვდება ოკულარს 6. დამკვირვებლის თვალი ოკულარში ხედავს წრეს, რომელიც დიამეტრით გაყოფილია ორ ნაწილად შეფერილობის სხვადასხვა ინტენსიურობით. ოპტიკურ სისტემაში ხდება სხივების გადაჯვარედინება და წრის მარცხენა სექტორის შეფერილობა შეესაბამება მარჯვენა კიუვეტას, ხოლო მარჯვენა სექტორისა — მარცხენა კიუვეტას.

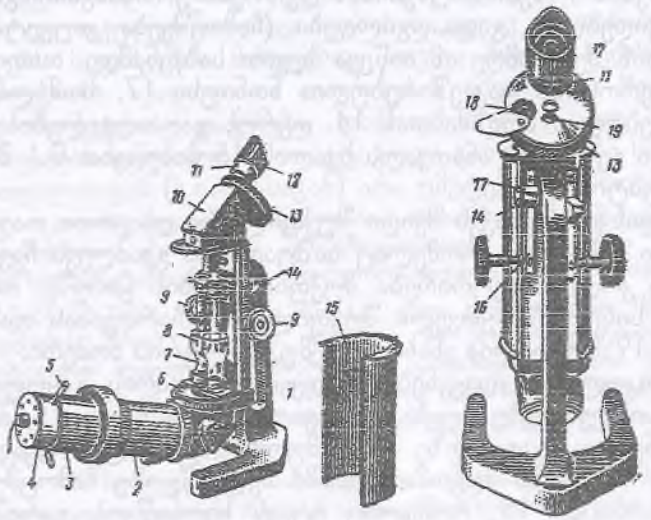


ნახ.131. სხივების სვლა ჩაძირვის კოლორიმეტრში

ერთ-ერთი ღეროს ვერტიკალური გადაადგილებისას იცვლება იმ ხსნარის ფენის სისქე, რომელშიც გადის სხივი და შესაბამისად იცვლება შეფერილობის ინტენსიურობა. ამიტომ ღეროს ამოძრავებენ ხრახნის საშუალებით მანამ, სანამ მხედველობის არეში წრის ორივე ნახევარი არ აღმოჩნდება ერთნაირად შეფერილი. გამოსაკვლევი და სტანდარტული ხსნარების

სიმაღლეების ათვლა ხდება კოლორიმეტრის სკალით ნონიუსის გამოყენებით. შედეგებს ითვლიან (35) ფორმულით.

КОЛ-1М კონცენტრაციული კოლორიმეტრის საერთო ხედი მოცემულია 132-ე ნახაზზე.



ნახ.132. კონცენტრაციული კოლორიმეტრი КОЛ-1М:
1-შტატივი; 2-გამანათებელი; 3-გამანათებლის კორპუსის ზედა ნაწილი; 4-გამანათებლის ნათურა; 5-გამანათებლის რეგულირების ხრახნები; 6-მაგიდა; 7-კიუვეტები; 8-მინის ღეროები; 9-მჭიდეგარები; 10-ფოტომეტრული თავაკი; 11-რგოლი სიმკვეთრეზე დაყენებისათვის; 12-ებონიტის თვალსაფარი; 13-შუქფილტრების დისკო; 14-პრიზმა; 15-გარსაცმი; 16-ათვლის სკალა; 17-ნონიუსი; 18-ფანჯარა შუქფილტრების მოცილებისათვის; 19-შუქფილტრების დისკოს ფანჯარა

კოლორიმეტრი შედგება შტატივისაგან 1, რომელზეც დამაგრებულია გამანათებელი 2, მაგიდა 6, მინის ღეროები 8 და ფოტომეტრული თავაკი 10 შუქფილტრების დისკოთი 13. გამანათებლის 3 კორპუსის ზედა ნაწილში ჩასმულია ნათურიანი ვაზნა 4, რომელიც შეგვიძლია გადავაადგილოთ კორპუსის მილის გასწვრივ. სამი ხრახნი 5 გამოიყენება ნათურის რეგულირებისათვის. გამანათებელი შეერთებულია შტატივთან კუთხვილით, ადვილად ხდება მისი მიხრახნა და ამოხრახნა.

მაგიდაზე 6 გვაქვს კილოები კიუვეტებისათვის და შტიფტი, რომელიც ზღუდავს კიუვეტების 7 გადაადგილებას განსაზღვრულ მდგომარეობამდე.

ღეროები დამაგრებულია ხუნდების კილოებში. მქნევარების 9 შემობრუნებისას ღეროები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გადაადგილდება (ჩამოეშვება კიუვეტის ფსკერთან შეხებამდე ან აიწევა ზევით საბჯენამდე. თითოეულ ღეროსთან დაკავშირებულია ნონიუსი 17, რომელიც დამაგრებულია პრიზმასთან 14. ღეროს გადაადგილებისას ნონიუსი გვაძლევს ანათვალს სკალის 16 მიხედვით 0,1 მმ-ის სიზუსტით.

დისკოში გვაქვს შვიდი შუქფილტრი და ერთი თავისუფალი ნახვრეტი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ კოლორიმეტრირება შუქფილტრების გარეშე. ოპტიკურ სისტემაში ყოველი შუქფილტრის ჩართვისას ფანჯარაში 19 შეგვიძლია ვნახოთ ამ შუქფილტრის ნომერი.

ოკულარის დაყენება მხედველობის არის გაყოფის ხაზის სიმკვეთრეზე ხდება კუთხვილიანი რგოლის 11 შემობრუნებით; ოკულარზე ჩამოცმულია ებონიტის თვალსაფარი 12. მუშა მდგომარეობაში ხელსაწყოზე ჩამოცმულია გარსაცმი 15, რომელიც იცავს ხელსაწყოს გარეშე სინათლისაგან.

КОЛ-1М კოლორიმეტრის ამუშავებისათვის რთავენ ტრანსფორმატორს ცვლადი დენის წრედში ძაბვით 220 ვ. შემდეგ რთავენ ხელსაწყოს ნათურას და ხსნიან გარსაცმს 15. აწევენ ხუნდს კილოებით და ჩააყენებენ ღეროებს 8. ფრთხილად ჩააყენებენ კიუვეტებს მაგიდის 6 კილოებში და მიწევენ ბოლომდე (მარჯვენა და მარცხენა კიუვეტებს ასხვავებენ წარწერებით).

თითოეულ კიუვეტაში ასხამენ ხსნარის 15 მლ-ს. ღეროებს ათავსებენ ხსნარში და უშვებენ კიუვეტის ფსკერთან შეხებამდე. ეს აუცილებელია ჰაერის ბუშტულების მოსაცილებლად. შემდეგ ჩამოაცმევენ გარსაცმს და ჩართავენ საჭირო შუქფილტრს.

ამის შემდეგ ღეროებს ათავსებენ სკალის დაახლოებით შუა ნაწილში, მაგალითად 20 მმ დანაყოფზე და რგოლის 11 შემობრუნებით აღწევენ გაყოფის მკვეთრი ხაზის მიღებას. მარცხენა და მარჯვენა ველის განათების

ერთნაირი სიკაშკაშის მიღება ხდება ვაზნის ხრახნების 5 შემოტრიალებით.

ხელსაწყოს დაყენების სიზუსტეს შედარების ორივე ველის განათების ერთნაირ ინტენსიურობაზე ამოწმებენ შემდეგნაირად: ოდნავ აწევენ (ან დაუშვებენ) მარჯვენა ღეროს და ოკულარში დაკვირვებისას კვლავ გაათანაბრებენ ველებს სიკაშკაშის მიხედვით. ათვლა ხდება ხელსაწყოს ნონიუსიანი სკალით. ამ ოპერაციას იმეორებენ ხუთჯერ. კოლორიმეტრის დაყენება დამთავრებულია, თუ ხუთი ანათვალის საშუალო არითმეტიკული განსხვავდება საჭირო ანათვალისაგან (ე.ი. 20-საგან) არა უმეტეს 1-1,5%-ისა.

კოლორიმეტრის საშუალებით ხსნარში Fe^{3+} შემცველობის განსაზღვრის მეთოდიკა. განსაზღვრისათვის წინასწარ უნდა მოვამზადოთ სტანდარტული ხსნარი. ამისათვის რკინა-ამონიუმის შაბის $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 0,8640 გ წონაკი უნდა გადავიტანოთ 1000 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში, გავხსნათ 25 მლ კონცენტრირებული აზოტმჟავით შემჟავებულ ხსნარში და განვაზავოთ ხსნარი ჭდემდე. განსაზღვრამდე ამ ხსნარის 10,0 მლ უნდა განვაზავოთ წყლით საზომ კოლბაში 100 მლ-მდე. ასეთნაირად მიღებული სტანდარტული ხსნარი შეიცავს 1 მლ-ში Fe^{3+} 0,01 მგ-ს.

100 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში მოვათავსოთ Fe^{3+} მარილის (მაგალითად სულფატის $Fe_2(SO_4)_3$ საანალიზო ხსნარის მცირე რაოდენობა, განვაზავოთ წყლით ჭდემდე და ავურიოთ.

ერთ-ერთ კიუვეტაში, მაგალითად მარცხენაში დავტოვოთ Fe^{3+} სტანდარტული ხსნარი. მეორე კიუვეტაში ჩავასხათ გამოსაკვლევი ხსნარის 10 მლ და ამონიუმროდანიდის 20%-იანი ხსნარის 5 მლ. დავამაგროთ ეს კიუვეტაც ხელსაწყოს მაგიდაზე. ჩამოვაცვათ ხელსაწყოს გარსაცმი. მქნევარების დახმარებით ჩავძიროთ ღეროები ხსნარში. დავაყენოთ სტანდარტული ხსნარის სვეტის სიმაღლე რომელიმე მუდმივ დონეზე (მაგალითად, 30,0 მმ) და მარცხენა ღეროს გადაადგილებით მივაღწიოთ შედარების ველების შეფერილობის ტოლობას (ლურჯ-მწვანე შუქფილტრის გამოყენებისას). მარჯვენა სკალისა და ნონიუსის მიხედვით ავიღოთ ანათვალი, ჩავიწეროთ გამოსაკვლევი ხსნარის შრის სისქე ($h_{გამ}$). გავიმეოროთ შეფერილობის გათანაბრება და ათვლა კიდევ ორჯერ და გამოვითვალოთ საში ანათვალის საშუალო არითმეტიკული. ვთქვათ, მივიღეთ $h_{გამ}$ =27,8.

მოვძებნოთ ჩვენს შემთხვევაში $h_{ტ}$ ფარდობა $h_{გამ}$-თან: 30,0:27,8= =1,08. შემდეგ გამოვითვალოთ გამოსაკვლევი ხსნარის ტიტრი ფორმულით

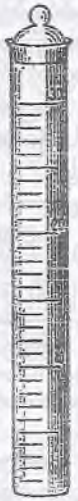
$$T_{გამ} = T_{ტ}\frac{h_{ტ}}{h_{გამ}} = 0{,}01 \cdot 1{,}08 = 0{,}0108 \text{ მგ } Fe^{3+} \text{ 1 მლ-ში.}$$

მაშასადამე, გამოსაკვლევი ხსნარის 100 მლ-ში გვექნება

$q=0,0108 \cdot 100=1,08$ მგ Fe^{3+} .

თუ განსაზღვრამდე გამოსაკვლევ ხსნარს ვანზავებდით წყლით რამდენჯერმე, მაშინ მიღებული შედეგიც უნდა გავზარდოთ იმდენჯერვე.

განზავების მეთოდის შემთხვევაში ამზადებენ ერთ სტანდარტულ ხსნარს, ასხამენ მას კოლორიმეტრულ სინჯარაში (ნახ.133) და ანზავებენ მას გამოხდილი წყლით გარკვეულ მოცულობამდე. ერთდროულად მეორე სინჯარაში ამზადებენ გამოსაკვლევ შეფერილ ხსნარს და უმატებენ გამოხდილი წყლის ისეთ რაოდენობას, რომ მოცულობები ორივე სინჯარაში გახდეს ერთნაირი. სინჯარებს ათავსებენ შტატივში მქრქალი მინის ეკრანით. უფრო ინტენსიურად შეფერილ ხსნარს ანზავებენ წყლით ვიდრე ორივე ხსნარის შეფერილობა არ გახდება ერთნაირი (ხსნარებს ვუყურებთ გვერდიდან). საზღვრავენ მიღებული ხსნარის მოცულობას განზავების შემდეგ (მეორე ხსნარის მოცულობა ჩვენთვის ცნობილია). გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციას საზღვრავენ ფორმულით



ნახ.133

$$c_{გამ} = \frac{c_{ტ} \cdot V_{გამ}}{V_{ტ}} . \qquad (36)$$

მაგალითად, თუ გამოსაკვლევი ხსნარი განვაზავეთ 10-დან 18,5 მლ-მდე, მაშინ გამოსაკვლევი იონის კონცენტრაცია მასში განზავებამდე იყო 18,5:10=1,85-ჯერ მეტი, ვიდრე სტანდარტულში. გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის საკმარისია სტანდარტული ხსნარის ცნობილი კონცენტრაცია გავამრავლოთ 1,85-ზე.

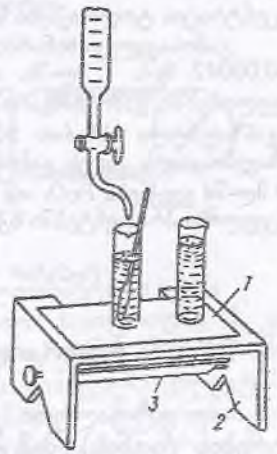
მაგალითი. მანგანუმის შემცველობაზე ნივთიერების ანალიზისას აიღეს 0,4566 გ წონაკი, გახსნეს, მოამზადეს კოლორიმეტრირებისათვის, გადაიტანეს გრადუირებულ ცილინდრში და განაზავეს წყლით 100 მლ-მდე. შემდეგ მოამზადეს სტანდარტული ხსნარი, რომელიც შეიცავს მანგანუმის 0,04 მგ-ს 1 მლ-ში. აიღეს მისი 5,00 მლ, დაამუშავეს ისევე, როგორც გამოსაკვლევი და განაზავეს წყლით ისე, რომ მისი შეფერილობა დაემთხვა გამოსაკვლევი ხსნარის შეფერილობას. სტანდარტული ხსნარის მოცულობა ტოლი აღმოჩნდა 76 მლ-ისა. გამოვიანგარიშოთ მანგანუმის პროცენტული შემცველობა ნიმუშში.

ამოხსნა: განზავებისათვის აიღეს 5 მლ სტანდარტული ხსნარისა, რომელიც შეიცავს მანგანუმის 0,04·5=0,2 მგ-ს. მაშასადამე, განზავებული ხსნარის 76 მლ აგრეთვე შეიცავს მანგანუმის 0,2 მგ-ს, ხოლო მისი 1 მლ კი შეიცავს შესაბამისად მანგანუმის 0,2:76=0,0026 მგ-ს.

ასეთივე კონცენტრაცია აქვს გამოსაკვლევ ხსნარსაც. მისი 100 მლ შეიცავს 0,0026·100=0,26 მგ, ანუ მანგანუმის 0,00026 გ-ს. წონაკის მიმართ ეს შეადგენს

$$Mn,\% = \frac{0,00026 \cdot 100}{0,4566} = 0,056 .$$

კოლორიმეტრული ტიტვრის მეთოდის (დუბლირების მეთოდის) შემთხვევაში ცილინდრში ასხამენ გამოსაკვლევ ხსნარს და რეაქტივებს, რომლებიც იწვევენ მის შეფერადებას (მაგალითად, Fe^{3+} ხსნარს უმატებენ აზოტმჟავას და ამონიუმროდანიდს). მეორე ისეთივე ცილინდრში ათავსებენ ხსნარს, რომელიც შეიცავს იმავე რეაქტივებს, მაგრამ არ შეიცავს გამოსაკვლევ იონს (ე.ი. Fe^{3+}), ახდენენ მის ტიტვრას ბიურეტიდან Fe^{3+}-ის სტანდარტული ხსნარით, ვიდრე შეფერილობის ინტენსიურობა ორივე ცილინდრში არ გახდება ერთხაირი. განსაზღვრის ბოლოს ხსნარების მოცულობებს ცილინდრებში ათანაბრებენ წყლის დამატებით. სტანდარტული ხსნარის დახარჯული მოცულობისა და მისი ტიტრის მიხედვით გამოითვლიან საძიებელი იონის კონცენტრაციას გამოსაკვლევ ხსნარში. კოლორიმეტრული ტიტვრისას გამოყენებული დანადგარის საერთო ხედი ნაჩვენებია 134-ე ნახაზზე. აღწერილი მეთოდის გამოყენება შეუძლებელია, როდესაც ხსნარის შეფერადება რეაქტივით მოითხოვს დიდ დროს ან სპეციალურ დამუშავებას (ადუღებას, გაფილტვრას და ა.შ.).



ნახ.134. დანადგარი კოლორიმეტრული ტიტვრისათვის: 1-უფერული მინის ფირფიტა; 2-სადგამი; 3-თეთრი ეკრანი ცილინდრების განათებისათვის

მაგალითი. ნივთიერების ანალიზისას Fe_2O_3-ის შემცველობაზე აიღეს 0,1450 გ წონაკი, გადაიყვანეს ხსნარში, შეამჟავეს აზოტმჟავით,

დააძატეს აძონიუძროდანიდი და განაზავეს წყლით 250 ძლ-ძდე. შემდეგ შეფერილი ხსნარის 25,0 მლ გადაიტანეს ცილინდრში და განაზავეს წყლით 50,0 მლ-მდე.

მეორე ცილინდრში ჩაასხეს იგივე რეაქტივები და ხსნარის მოცულობა დაიყვანეს წყლით 50 მლ-მდე. მიკრობიურეტიდან ამატებდნენ ამ ცილინდრში Fe^{3+} მარილის სტანდარტულ ხსნარს, ვიდრე შეფერილობა არ გაუთანაბრდა გამოსაკვლევის შეფერილობას. ტიტვრაზე დაიხარჯა 1 მლ-ში Fe_2O_3 -ის 0,01 მგ-ის შემცველი სტანდარტული ხსნარის 2,20 მლ. გამოვიანგარიშოთ Fe_2O_3 -ის პროცენტული შემცველობა ნიმუშში.

ამოხსნა: ტიტვრაზე დახარჯული სტანდარტული ხსნარი შეიცავს Fe_2O_3 -ის 0,01·2,2=0,022 მგ-ს. მაშინ მთელი ხსნარის (50+2,2 მლ) კონცენტრაცია ტოლი იქნება 0,022:52,2=0,00042 მგ Fe_2O_3-ისა 1 მლ-ში.

გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია აგრეთვე შეადგენს Fe_2O_3-ის 0,00042 მგ-ს 1 მლ-ში. თუ უგულვებელვყოფთ მცირე სხვაობას მოცულობებში, გამოვიანგარიშებთ Fe_2O_3 -ის შემცველობას გამოსაკვლევი განზავებული ხსნარის 50 მლ-ში: 0,00042·50=0,021 მგ. მაგრამ განზავებისათვის აიღეს გამოსაკვლევი ხსნარის 25 მლ. ამიტომ მთელ 250 მლ-ში გვექნება Fe_2O_3 -ის 0,021·10=0,21 მგ (0,00021 გ). Fe_2O_3 -ის შემცველობა პროცენტებში იქნება

$$Fe_2O_3,\% = \frac{0{,}00021 \cdot 100}{0{,}1450} = 0{,}145 .$$

2.2.2.2. ფოტოკოლორიმეტრული ანალიზი

თუ ვიზუალური კოლორიმეტრიის მეთოდებში ნივთიერების (იონის) შემცველობა განისაზღვრება თვალზომით ხსნარების შეფერილობის შედარებით, ფოტოკოლორიმეტრიაში ხსნარში გასული სინათლის ინტენსიურობის შესახებ მსჯელობენ ფოტოელემენტებში აგზნებული ფოტოდენის ძალის მიხედვით.

ფოტოელემენტს გააჩნია ლითონის ფირფიტაზე დატანილი ნახევრად გამტარის (მაგალითად, სელენის, ვერცხლისა ან სხვა ნივთიერების სულფიტის) ფენა. სინათლის ნაკადი ფოტოელემენტზე მოხვედრისას აღაგზნებს ელექტრულ დენს, რომლის ძალა დამოკიდებულია განათების ინტენსიურობაზე.

შეფერილობის უშუალო დაკვირვება აქ შეცვლილია გალვანომეტრის ისრის (ან ნებისმიერი სხვა დეტექტორის (მიმღების)) ჩვენებით.

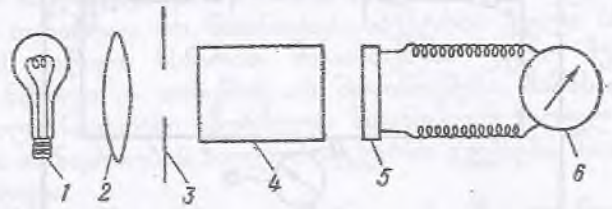
ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონის ამსახველი

$$D = \kappa c l$$

განტოლებიდან უცნობი კონცენტრაცია შეგვიძლია განვსაზღვროთ ხსნარის ოპტიკური D სიმკვრივის ცოდნის შემთხვევაში. ამ სიდიდის უშუალო გაზომვისათვის გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყოები-ფოტოელექტროკოლორიმეტრები.

ცნობილია *პირდაპირი მოქმედების* (ცალმხარა) და *დიფერენციალური* (ორმხარა) ფოტოკოლორიმეტრები.

ცალმხარა (ერთსხივიან) ფოტოკოლორიმეტრებში (ნახ.135) გვაქვს ერთი ფოტოელემენტი.



ნახ.135. ცალმხარა ფოტოკოლორიმეტრის სქემა

სინათლის სხივი ელექტრული ნათურიდან 1 კონდენსორის 2, მარეგულირებელი დიაფრაგმის (ზოგჯერ შუქფილტრის) 3, შეფერილი ხსნარის შემცველი კიუვეტის 4 გავლის შემდეგ ეცემა ფოტოელემენტს 5. ამ უკანასკნელში აღძრული დენის ძალას ზომავენ გალვანომეტრით 6.

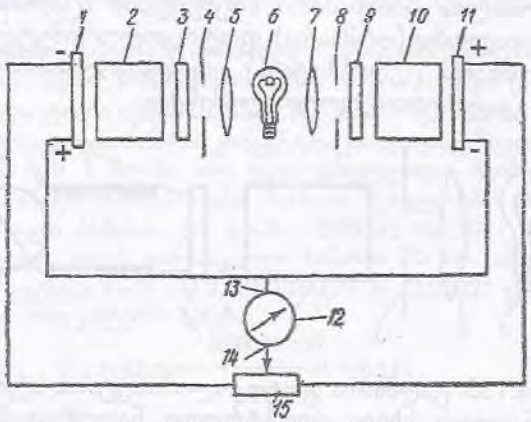
ცალმხარა ფოტოკოლორიმეტრი ნორმალურად მუშაობს სინათლის მუდმივი ინტენსიურობის შემთხვევაში. მაგრამ გამანათებელ წრედში დენის მცირეოდენი ცვალებადობა მკვეთრად ცვლის ვარვარების ნათურის სინათლის ძალას. ამდენად ცალმხარა ფოტოკოლორიმეტრებს ესაჭიროება დენის დამოუკიდებელი წყარო. ხშირად მათი კვებისათვის იყენებენ დენის სტაბილიზატორებს.

გალვანომეტრის ისრის ჩვენების მიხედვით განსაზღვრავენ გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობას ($D_{გამ}$). ცალკე საზღვრავენ სტანდარტული ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს ($D_{სტ}$).

გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია გამოითვლება ფორმულით

$$c_{გამ} = \frac{c_{სტ} \cdot D_{გამ}}{D_{სტ}} \quad (37)$$

ორმხარა (ორსხივიან) ფოტოკოლორიმეტრებში ორი ფოტოელემენტია (ნახ.136).



ნახ.136. ორმხარა ფოტოკოლორიმეტრის სქემა:
1,11-ფოტოელემენტები; 2,10-კიუვეტები; 3,9-შუქფილტრები; 4,8-დიაფრაგმები; 5,7-კონდენსორები; 6-გამანათებელი; 12-გალვანომეტრი; 13,14-გალვანომეტრის კლემები; 15-წინაღობა

სინათლე ელექტრული ნათურიდან 6 ორი საწინააღმდეგო მიმართულებით გადის კონდენსორებში 5 და 7, დიაფრაგმებში 4 და 8, შუქფილტრებში 3 და 9, აგრეთვე ორ კიუვეტაში 2 და 10 (ერთ კიუვეტაში გამოსაკვლევი ხსნარია, მეორეში — სუფთა გამხსნელი). შემდეგ შუქი ხვდება ფოტოელემენტებს 1 და 11. ორივე ფოტოელემენტის ერთნაირი განათებისას ხდება ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული ფოტოდენების კომპენსაცია და გალვანომეტრის 12 ისარი არ გადაიხრება, ე.ი. დარჩება სკალის ნულოვან დანაყოფზე. მაგრამ თუ ერთ კიუვეტაში შეფერილი ხსნარია, ხოლო მეორეში — სუფთა გამხსნელი, ფოტოელემენტებში წარმოიქმნება ფოტოელექტრული დენების გარკვეული სხვაობა, რომლის გაზომვაც შესაძლებელია გალვანომეტრით 12.

ორმხარა ფოტოკოლორიმეტრების ანათვლები სავსებით ობიექტურია, არაა დამოკიდებული ექსპერიმენტატორის ინდივიდუალურ თავისებურებებზე, გამანათებელი ნათურის წრედში დენის ცვალებადობაზე.

შუქფილტრების გამოყენების აუცილებლობა კოლორიმეტრირების დროს გაპირობებულია შემდეგი მიზეზებით. ცნობილია, რომ შეფერილ ხსნარში გასული სინათლე არაა მონოქრომატული, ე.ი. არ წარმოადგენს განსაზღვრული სიგრძის ტალღის სინათლეს. ის შედგება სპექტრის მეტად ან ნაკლებად ფართო არის სხივებისაგან. შეფერილი ხსნარი თანაბრად არ შთანთქავს სპექტრის ყველა სხივს. სხივების ნაწილი ხსნარით შთაინთქმება უფრო მეტად, მეორე ნაწილი — თითქმის არ შთაინთქმება. მაშასადამე, შეფერილი ნაერთები ამორჩევით შთანთქავენ ხილულ სხივებს და ამ ნაერთების ხილულ სპექტრში გვექნება შთანთქმის ზოლები.

კიუვეტაში გამავალი სინათლის შემადგენლობის სირთულის გათვალისწინებით კოლორიმეტრირების დროს რთული გამოსხივებიდან ცდილობენ ვიწრო სპექტრული არის გამოყოფას. ამის მისაღწევად იყენებენ მონოქრომატულ შუქფილტრებს — სხვადასხვა ფერებში შეღებილ გამჭვირვალე ფირფიტებს. რთული გამოსხივებიდან შუქფილტრები ატარებენ სპექტრის მხოლოდ იმ ნაწილს, რომელიც შთაინთქმება შეფერილი ხსნარით, დანარჩენ ნაწილს კი აკავებენ. სინამდვილეში ეს, რა თქმა უნდა, არ უზრუნველყოფს სინათლის მიღებული ნაკადის სრულ მონოქრომატულობას. მაგრამ შუქფილტრებით მაინც შეგვიძლია გამოვყოთ ის სპექტრული არე, რომელშიც განლაგებულია გამოსაკვლევი ნივთიერების სპექტრში შთანთქმის მაქსიმუმი.

შუქფილტრი უნდა შევირჩიოთ ხსნარის შეფერილობის მიხედვით. მას უნდა ჰქონდეს საანალიზო ხსნარის შეფერილობის დამატებითი (შემვსები) შეფერილობა (ცხრილი 12).

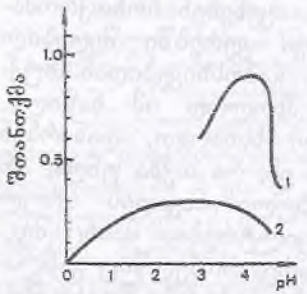
ცხრილი 12

	ხსნარის შეფერილობა	შუქფილტრის შეფერილობა	ტალღის სიგრძე, ნმ
1	იისფერი	ყვითელ-მწვანე	400-450
2	ლურჯი	ყვითელი	450-480
3	მწვანე-ლურჯი	ნარინჯისფერი	480-490
4	ლურჯ-მწვანე	წითელი	490-500
5	მწვანე	მეწამული	500-560
6	ყვითელ-მწვანე	იისფერი	560-575
7	ყვითელი	ლურჯი	575-590
8	წითელი	ლურჯ-მწვანე	590-625
9	მეწამული	მწვანე	625-750

კოლორიმეტრირების ამა თუ იმ შემთხვევისათვის გამოსადეგი შუქფილტრების უფრო ზუსტი შერჩევა ხდება ცდისეული გზით.

შუქფილტრების გამოყენების გამო იზრდება ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვის სიზუსტე. საქმე იმაშია, რომ რაც უფრო მცირეა სინათლის ნაკადის მონოქრომატიზაცია, მით უფრო ირღვევა ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონი.

ამ ფიზიკური ფაქტორის გარდა არსებობს სხვადასხვა ქიმიური ფაქტორები, რომლებიც იწვევენ გადახრებს სინათლის შთანთქმის კანონიდან: ა) საანალიზო ნივთიერებათა ხსნარებში გარეშე იონების არსებობა, რომლებიც ცვლიან ნაერთების იონიზაციის (დისოციაციის) ხარისხს და შთანთქავენ სხივურ ენერგიას, რაშაც შეიძლება გამოიწვიოს შეფერილობის (და, მაშასადამე, ოპტიკური სიმკვრივის) შეცვლა; ბ) ანალიზის მსვლელობაში ხსნარების განზავებისას ნივთიერებათა ჰიდროლიზი; გ) ხსნარის pH-ის შეცვლა (ნახ.137), რაც ახდენს ზეგავლენას შთანთქმის დარღვევის გამომწვევ რეაქციებზე; დ) ხსნარის ტემპერატურა და სხვ.



ნახ.137.შთანთქმის pH-ზე დამოკიდებულების გრაფიკი: 1-ალუმინონი; 2-მოლიბდენსილიციუმის ჰეტეროპოლიმჟავა

ხსნარის pH-ის ზრდისას რიგ შემთხვევებში შთანთქმა ჯერ იზრდება, ხოლო შემდეგ კლებულობს (ნახ.137).

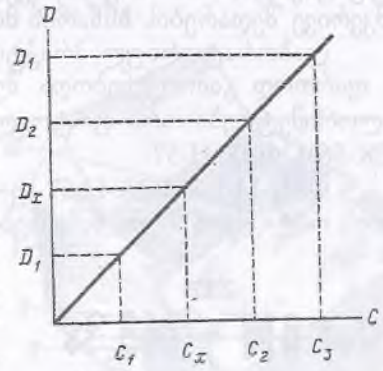
ფოტოკოლორიმეტრებზე მუშაობის დროს საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის გამოიყენება სხვადასხვა მეთოდები:

1. ვიზუალური კოლორიმეტრიის წინა პუნქტში განხილული მეთოდები;

2. საკალიბრებელი (საგრადუირებელი) მრუდის მეთოდი.

3. დიფერენციალური ფოტომეტრიის მეთოდი და სხვ.

საკალიბრებელი მრუდის მეთოდი დაფუძნებულია საკოორდინატო ღერძებზე მრუდის აგებაზე. ამისათვის ამზადებენ სტანდარტული ხსნარების თანდათანობით მზარდი კონცენტრაციის მთელ სერიას და საზღვრავენ შესაბამის ოპტიკურ სიმკვრივეებს. ამ მონაცემებით აგებენ საკალიბრებელ (საგრადუირებელ) მრუდს (ნახ.138), რომელსაც შემდეგ იყენებენ გამოსაკვლევ ხსნარში იონის კონცენტრაციის გრაფიკული განსაზღვრისათვის.



ნახ.138. ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების გრაფიკი

138-ე ნახაზზე საკალიბრებელი მრუდი წარმოადგენს კოორდინატთა სათავეზე გამავალ წრფეს. D-ს c-ზე დამოკიდებულებას შეიძლება მრუდის სახეც ჰქონდეს, მაგრამ ამ შემთხვევაში უნდა ავიღოთ ეტალონური ხსნარების მეტი რაოდენობა.

ფოტოკოლორიმეტრიის დიფერენციალური მეთოდის გამოყენებისას გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს საზღვრავენ არა სუფთა გამხსნელის ან რეაგენტის ხსნარის მიმართ, არამედ შედარების ხსნარის მიმართ. ეს უკანასკნელი შეიცავს საანალიზო ნივთიერების გარკვეულ რაოდენობას, რომელიც შესაბამისი რეაგენტების დამატე-

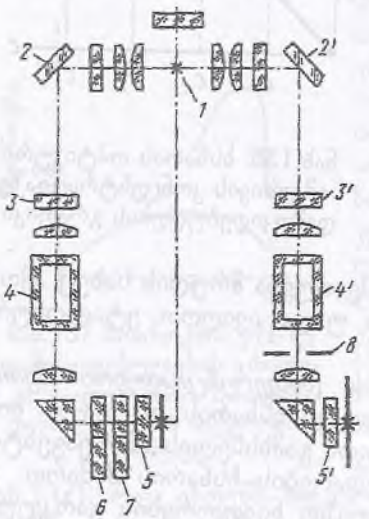
ბით გადაყვანილია შეფერილ ნაერთში. შედარების ხსნარის კონცენტრაცია გამოსაკვლევი ხსნარის c_x კონცენტრაციაზე ნაკლები უნდა იყოს. გამოთვლებს ატარებენ ფორმულით

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{10^{-\varkappa dc_0}}{10^{-\varkappa dc_x}} \quad \text{ან} \quad \lg\frac{I_1}{I_2}=D_x'=\varkappa l(c_x-c_0),$$

სადაც I_1 შედარების ხსნარში გასული სინათლის ნაკადის ინტენსიურობაა, I_2—გამოსაკვლევ ხსნარში გასული სინათლის ნაკადის ინტენსიურობა; l—შთამნთქმელი ფენის სისქე; ϰ—გამოსაკვლევი ნივთიერების შთანთქმის მოლური კოეფიციენტი; D_x'— გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე შედარების ხსნარის მიმართ.

ლაბორატორიულ პრაქტიკაში წლების განმავლობაში ფართოდ გამოიყენებოდა შემდეგი ფოტოელექტრული კოლორიმეტრები ორი ფოტოელემენტით: ФЭК-М, ФЭК-56, ФЭК-56М, ФЭК-Н-57.

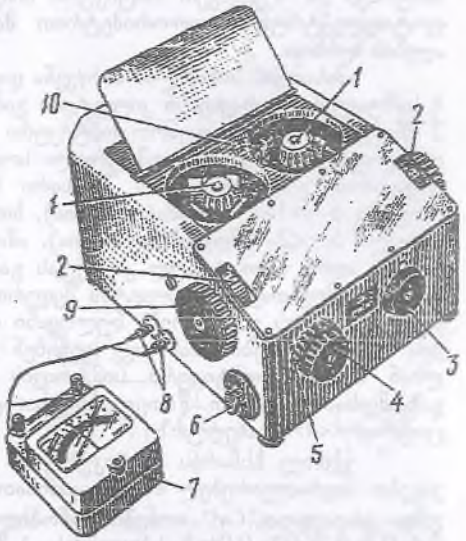
ФЭК-М და ФЭК-Н-57 ფოტოელექტროკოლორიმეტრების ოპტიკური სქემა ნაჩვენებია 139-ე ნახაზზე.



ნახ.139. ФЭК-М და ФЭК-Н-57 ფოტოელექტროკოლორიმეტრების ოპტიკური სქემა: 1-სინათლის წყარო; 2 და 2' - სარკეები; 3 და 3'-შუქფილტრები; 4 და 4'-კიუვეტები ხსნარებით; 5 და 5'-ფოტოელემენტები; 6 და 7-ნეიტრალური სოლები; 8-ჭვრიტეებიანი დიაფრაგმა

სინათლის წყაროდან 1 სინათლის სხივები ვრცელდება ორი საწინააღმდეგო მიმართულებით, აირეკლება სარკეებით 2 და 2', გაივლის შუქფილტრებში 3 და 3', ორ კიუვეტაში გამოსაკვლევი ხსნარებით 4 და 4' და ხვდება სელენის ფოტოელემენტებს 5 და 5'. სინათლის მარცხენა კონა ფოტოელემენტზე 5 მოხვედრამდე გადის ნეიტრალურ 6 და 7 სოლებში, ხოლო მარჯვენა კონა ფოტოელემენტზე 5' მოხვედრამდე ხვდება ჭვრიტეებიან დიაფრაგმას 8. ეს დიაფრაგმა დაკავშირებულია ორ ამთვლელ დოლთან. თითოეულ მათგანს გააჩნია ოპტიკური სიმკვრივის სკალა (წითელი) და შუქგამტარობის სკალა (შავი).

ФЭК-М ტიპის ფოტოელექტროკოლორიმეტრის საერთო ხედი მოცემულია 140-ე ნახაზზე.



ნახ.140.ფოტოელექტრული კოლორიმეტრი ФЭК-М: 1-კიუვეტების საჭერი; 2-დოლების ინდექსები; 3-შუქფილტრების სახელურები; 4-ზუსტი აწყობის ფოტომეტრული სოლი; 5-უხეში აწყობის ფოტომეტრული სოლი; 6-მგრძნობიარობის გადამრთველის სახელური; 7-გალვანომეტრი; 8-ბუდეები გალვანომეტრის მისაერთებლად; 9-საზომი დოლი; 10- სინათლის ნაკადების მფარავი შტორის სახელური

ФЭК-М ტიპის ფოტოელექტრული კოლორიმეტრით ხსნარში სპილენძის განსაზღვრის მეთოდიკა: ხსნარში სპილენძის კონცენტრაციის განსაზღვრამდე სპეციალური გამხსნელისა და სპილენძის მარილის სტანდარტული ხსნარის გამოყენებით უნდა აიგოს საკალიბრებელი (საგრადუირებელი) მრუდი.

გამხსნელის მოსამზადებლად განზავებული (1:3) ამიაკის NH_4OH 10 მლ გადავიტანოთ 50 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში, დავა-

მატოთ კონცენტრირებული (1,84 გ/სმ³ სიმკვრივის მქონე) გოგირდმჟავას ერთი წვეთი და გამოხდილი წყლით შევავსოთ ჭდემდე.

სპილენძის მარილის *სტანდარტული ხსნარის მოსამზადებლად* ქიმიურად სუფთა სპილენძის სულფატის $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 3,927 გ გადავიტანოთ 1000 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში, გავხსნათ, დავამატოთ კონცენტრირებული გოგირდმჟავას 5 მლ და გამოხდილი წყლით გავავსოთ ჭდემდე ასეთი ხსნარის 1 მლ შეიცავს Cu^{2+} იონის 1 მილიგრამს.

50 მლ ტევადობის ექვს საზომ კოლბაში პიპეტებით მოვზომოთ სპილენძის მარილის სტანდარტული ხსნარის 25; 20; 15; 10; 5 და 3 მლ შესაბამისად. თითოეულ კოლბაში დავამატოთ განზავებული (1:3) ამიაკის NH_4OH 10 მლ და სითხეების მოცულობები კოლბებში დავიყვანოთ ჭდემდე გამოხდილი წყლით.

ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა უნდა დავიწყოთ სპილენძის მეტი კონცენტრაციის მქონე ხსნარიდან. ეს ხსნარი კოლბიდან უნდა ჩავასხათ 1 სმ მუშა სიგრძის მქონე კიუვეტაში, დავახუროთ კიუვეტას სახურავი და შევეცადეთ ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრას ФЭК-М ფოტოელექტრული კოლორიმეტრით მარჯვენა დოლზე ანათვლების აღების ხერხით.

ამისათვის სინათლის მარჯვენა და მარცხენა კონებში საჭერების 1 საშუალებით ათავსებენ კიუვეტებს გამხსნელებით. მარჯვენა დოლის 2 ინდექსი უნდა დავაყენოთ ოპტიკური სიმკვრივის სკალის ნულოვან დანაყოფზე. შემდეგ ფოტომეტრული სოლების 4 და 5 შემობრუნებით დავაყენოთ გალვანომეტრის 7 ისარი ნულზე ჯერ უხეშად (გადამრთველი 6 <<1>> მდგომარეობაშია), ხოლო შემდეგ ზუსტად (გადამრთველი 6 <<2>> მდგომარეობაშია). ამის შემდეგ სინათლის მარჯვენა კონაში ადრე მოთავსებულ კიუვეტას გამხსნელით ამოვიღებთ და მის ნაცვლად მოვათავსებთ კიუვეტას შეფერილი ხსნარით. გალვანომეტრის ისარი ამ დროს გადაიხრება ნულოვანი დანაყოფიდან. საზომი დოლების 9 შემობრუნებით მას ისევ აყენებენ სკალის ნულზე. ბოლოს აითვლიან ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდეს მარჯვენა დოლზე. გაზომვისას ვიყენებთ წითელ შუქფილტრს, რომალიც აღნიშნულია ციფრით <<4>> სახელურზე 7.

ექვსივე ხსნარის ოპტიკური D სიმკვრივის გაზომვის შემდეგ ვაგებთ საგრადუირებელ მრუდს. ამისათვის ჰორიზონტალურ ღერძზე უნდა გადავდოთ Cu^{2+} იონების ცნობილი კონცენტრაციები (ე.ი. 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 0,06 მგ სპილენძისა 1 მლ-ში), ხოლო ვერტიკალურზე — ხსნარების 'ძესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივეები.

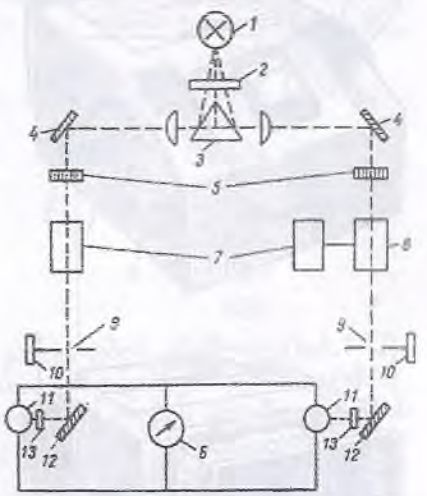
გამოსაკვლევ ხსნარში სპილენძის განსაზღვრისათვის მოვიქცეთ შემდეგნაირად. 50 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში მოვათავსოთ გამოსაკვლევი ხსნარის ისეთი რაოდენობა, რომელიც შეიცავს Cu^{2+} 0,01-დან 0,5 მგ-მდე. ამ კოლბაში დავამატოთ კონცენტრირებული გოგირდმჟავას ერთი წვეთი, გავანეიტრალოთ განზავებული (1:3) ამიაკით მისი წვეთ-წვეთად დამატებით შემღვრევამდე. ამის შემდეგ უნდა დავამატოთ ამიაკის 10 მლ და სითხის მოცულობა კოლბაში დავიყვანოთ ჭდემდე.

ხსნარი საგულდაგულოდ ავურიოთ, გავავსოთ ამ ხსნარით 1 სმ მუშა სიგრძის მქონე კიუვეტა და გავზომოთ მისი ოპტიკური სიმკვრივე მარჯვენა დოლით წითელი შუქფილტრის გამოყენებით, ე.ი. იმავე პირობებში, რა პირობებშიც შევიღეთ საგრადუირებელი მრუდი.

ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვის შემდეგ საგრადუირებელი გრაფიკის მიხედვით მოვძებნით Cu^{2+} იონის კონცენტრაციას მილიგრამებში ხსნარის 1 მლ-ში. სპილენძის საერთო რაოდენობას მივიღებთ ამ მნიშვნელობის გამრავლებით საანალიზო ხსნარის მთელ მოცულობაზე (50 მლ-ზე).

ხსნარებში Cu^{2+} შემცველობის განსაზღვრის აუცილებლობა ექსპერტიზის დროს გაპირობებულია სპილენძის მარილების ფართო გამოყენებით სოფლის მეურნეობაში შხამქიმიკატების სახით.

გავიხილოთ ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული ფოტოკოლორიმეტრი ФЭК-56М. მისი სქემა მოცემულია 141-ე ნახაზზე.

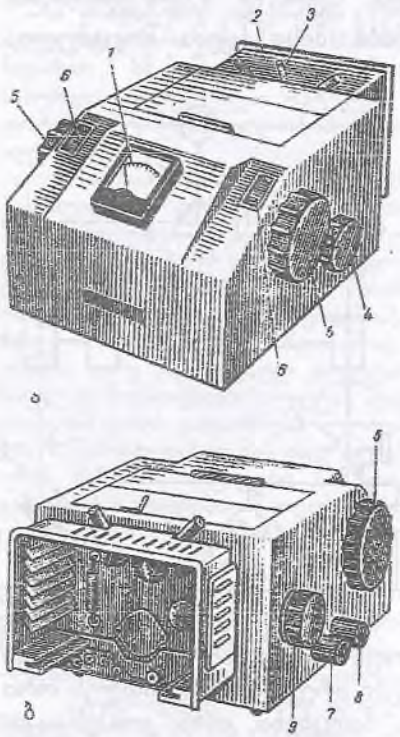


ნახ.141.ФЭК-56М ტიპის ფოტოკოლორიმეტრის სქემა: 1-ვარვარების ნათურა; 2-შუქფილტრი; 3-პრიზმა; 4-სარკეები; 5- ფერადი შუქფილტრები; 6-მიკროამპერმეტრი; 7-კიუვეტები გამხსნელით; 8-კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით; 9-გასაშლელი დიაფრაგმები; 10- ამთვლელი დოლები; 11-ფოტოელემენტები; 12-სარკეები; 13-მქრქალი მინები

სინათლის წყაროდან 1 სინათლის ნაკადი ხვდება პრიზმას 3, რომელიც მას ყოფს ორ კონად და მიმართავს ბრტყელ სარკეებზე 4. სარკეები არეკლავენ სინათლეს ორი პარალელური კონის სახით. მარცხენა კონა კომპენსაციურია, მარჯვენა — საზომი. სინათლის პარალელური კონები შუქფილტრების 5 გავლის შემდეგ ხვდება კიუვეტებს ხსნარებით. კიუვეტებში 7 ჩასხმულია გამხსნელი, კიუვეტაში 8—გამოსაკვლევი ხსნარი. კიუვეტებში გავლის შემდეგ

სინათლის კონები ხვდება გასაშლელ დიაფრაგმებს, აირეკლება სარკეებიდან 12 მკრქალ მინებზე 13, რომელთა უკან განლაგებულია ფოტოელემენტები 11. გასაშლელი დიაფრაგმები მათთან დაკავშირებული ამთვლელი დოლების 10 შემობრუნებისას ცვლიან ნახვრეტების სიგანეს. ამით იცვლება ფოტოელემენტებზე დაცემული სინათლის ნაკადის ინტენსიურობა.

ФЭК-56М ტიპის ფოტოკოლორიმეტრის წინა და უკანა ხედი მოცემულია შესაბამისად 142 ა და ბ ნახაზებზე.



ნახ.142.ფოტოელექტროკოლორიმეტრი ФЭК-56М: 1-მიკროამპერმეტრი; 2-გამანათებლის კორპუსი; 3-შტორის დასახური სახელურა; 4-კიუვეტების გადამრთველი; 5- ამთვლელი დოლები; 6- ამთვლელი დოლის სკალა; 7-სახელურა ნულზე დასაყენებლად; 8-მგრძნობიარობის რეგულირება; 9-შუქფილტრის გადამრთველი

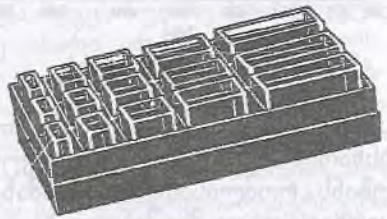
სინათლის წყარო (ვარვარების ნათურა ან ზემაღალი წნევის ვერცხლისწყალ-კვარცის ნათურა) განლაგებულია ხელსაწყოს უკანა ნაწილში. ეს წყაროები უზრუნველყოფენ მუშაობას 315-დან 630 ნმ-მდე ტალღის სიგრძეების დიაპაზონში. გამანათებლის რამდენიმე ხრახნის საშუალებით შესაძლებელია ნათურების მდგომარეობის რეგულირება. იმისათვის, რომ სინათლის ნაკადები დაეცეს ფოტოელემენტებს მხოლოდ გაზომვის პროცესში, გათვალისწინებულია გაუმჭვირი შტორი, რომელიც საჭიროების შემთხვევაში კეტავს სინათლის ნაკადებს. შტორი იხსნება სახელურით 3.

ხელსაწყოს გააჩნია მინის ცხრა შუქფილტრი, რომლებიც ჩამონტაჟებულია კორპუსის უკანა კედელზე დამაგრებულ დისკოში. შუქფილტრების ჩართვა ხდება სახელურით 9. ციფრები სკალაზე გვიჩვენებენ, თუ რომელი შუქფილტრებია ჩართული (ცხრილი 13).

ცხრილი 13

ნომერი სახელურზე	შუქფილტრის ნიშანდება	გატარების მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე, ნმ
1	1	315
2	2	364
3	3	400
4	4	434
5	5	490
6	6	540
7	7	582
8	8	597
9	9	630

ხელსაწყოს ახლავს კიუვეტების ანაწყობი(ნახ.143). კიუვეტები სხვადასხვა ზომისაა (სხვადასხვა მუშა სიგრძის). მათი შერჩევა ხდება შეფერილი ხსნარების ინტენსიურობის მიხედვით.



ნახ.143

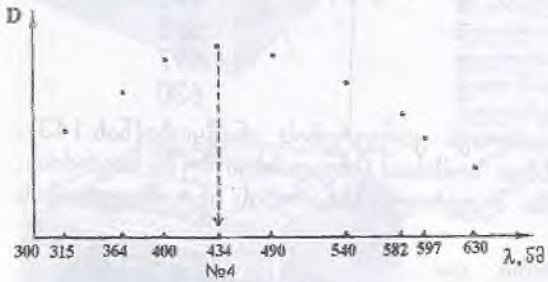
შუქფილტრისა და კიუვეტის სწორ შერჩევაზე არსებითადაა დამოკიდებული განსაზღვრის სიზუსტე. კიუვეტების ანაწყობიდან და შუქფილტრების კომპლექტიდან უნდა ავირჩიოთ ისეთი კომბინაცია, რომლის დროსაც შეცდომა კონცენტრაციის განსაზღვრაში იქნება მინიმა-

ლური. კიუვეტის წინასწარი შერჩევა ხდება ვიზუალურად. თუ ხსნარი ინტენსიურადაა შეფერილი, უნდა გამოვიყენოთ კიუვეტა მცირე მუშა სიგრძით (12-13 მმ), სუსტად შეფერილ ხსნარებთან მუშაობისას — კიუვეტები დიდი მუშა სიგრძით (30-35 მმ).

წინასწარ შერჩეულ კიუვეტაში ასხამენ ხსნარს და ზომავენ მის ოპტიკურ სიმკვრივეს მოცემული ხსნარის შესაბამისი შუქფილტრის გამოყენებით.

ხსნარების მწკრივის გაზომვისას კიუვეტაში ასხამენ საშუალო კონცენტრაციის ხსნარს. თუ ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდე 0,7-ზე მეტია, ირჩევენ უფრო მცირე მუშა სიგრძის კიუვეტას, თუ ოპტიკური სიმკვრივე 0,1-ზე ნაკლებია—კიუვეტას უფრო დიდი მუშა სიგრძით. კიუვეტას არ ცვლიან იმ შემთხვევაში, თუ ოპტიკური სიმკვრივე შეადგენს 0,3-0,5-ს.

შუქფილტრის შერჩევა ხდება მე-13 ცხრილის მიხედვით. ამისათვის არჩეულ კიუვეტაში ასხამენ ხსნარს და საზღვრავენ ოპტიკურ სიმკვრივეს ყველა შუქფილტრისათვის ორივე ნათურის შემთხვევაში (№1 და №2 შუქფილტრების გამოყენებისას მიზანშეწონილია ვერცხლისწყლის ნათურის გამოყენება). მიღებული მონაცემებით აგებენ გრაფიკს (ნახ.144), რისთვისაც აბსცისათა ღერძზე გადადებენ ხელსაწყოს ალწერილობაში ნაჩვენებ ტალღის სიგრძეებს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — გამოსაკვლევი ხსნარის გაზომილ ოპტიკურ სიმკვრივეს. გამოყოფენ უბანს, რომლისათვისაც დამახასიათებელია ოპტიკური სიმკვრივის დიდი მნიშვნელობა და ოპტიკური სიმკვრივის მცირე დამოკიდებულება ტალღის სიგრძეზე, ე.ი. უბანს, სადაც მრუდი თითქმის პარალელურია აბსცისათა ღერძისა. ირჩევენ იმ შუქფილტრს, რომლისათვისაც შუქგამტარობის მაქ-



ნახ.144

სიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე შეესაბამება სპექტრული მრუდის გამოყოფილ უბანს. 144-ე ნახაზზე ასეთია №4 შუქფილტრი (ტალღის სიგრძე 434 ნმ).

ФЭК-56М ფოტოკოლორიმეტრზე მუშაობის ტექნიკა. კიუვეტები, რომლებშიც ვახდენთ მთანთქმის გაზომვას, საგულდაგულოდ უნდა გავწმინდოთ. ამისათვის ისინი უნდა გამოვრეცხოთ კონცენტრირებული ქლორწყალბადმჟავით, წყლით, რამდენჯერმე გამოხდილი წყლით და გავაშრალოთ. გამოყენების წინ კიუვეტას გამოავლებენ ხსნარს, რომლის ოპტიკური სიმკვრივეც უნდა გაიზომოს.

კიუვეტას ავსებენ გამოსაკვლევი სითხით იმ დონემდე, რომ გამოსხივების ნაკადი გადიოდეს მხოლოდ ხსნარის ფენაში. კიუვეტის ფენის სისქეს ირჩევენ ისე, რომ ოპტიკური სიმკვრივის გასაზომი მნიშვნელობები მოთავსდეს ოპტიმალურ ინტერვალში 0,1-1,0.

კიუვეტას აყენებენ ხელსაწყოს საკიუვეტო განყოფილებაში მკაცრად განსაზღვრულ მდგომარეობაში, რომ გამოვრიცხოთ გამოსხივების არეკვლასთან და გაბნევასთან დაკავშირებული ცდომილებები.

ხელსაწყოს მომზადება. ხელსაწყო უნდა ჩავრთოთ სამუშაოს დაწყებამდე 25-30 წუთით ადრე. ჩართვის მომენტში ჩვენებები არამდგრადია, ამიტომ სისტემა უნდა გახურდეს. ამ დროს შტორი დახურული უნდა იყოს.

ორივე ამთვლელი დოლი უნდა დავაყენოთ ნულზე წითელი სკალის მიხედვით (100% შუქგამტარობის სკალის მიხედვით), დიაფრაგმები მთლიანად გახსნილია. ამის შემდეგ უნდა შევამოწმოთ ხელსაწყოს „ელექტრული ნული“: მიკროამპერმეტრის ისარი უნდა იდგეს ნულზე (დახურული შტორების შემთხვევაში). თუ ისარი არ ემთხვევა ნულს, სპეციალური სახელურით მიკროამპერმეტრის ისარს აბრუნებენ ნულოვან მდგომარეობაში. იღებენ ერთნაირი მუშა სიგრძის სამ კიუვეტას; მათ შორის ორს ავსებენ გამხსნელით, ხოლო დარჩენილს — გამოსაკვლევი ხსნარით. თუ მოცემული განსაზღვრის დროს გამოყენებული რეაქტივები შეფერილია, მაშინ ატარებენ ე.წ. ყრუ ან საკონტროლო ცდას: ისეთივე მოცულობის საზომ კოლბაში, როგორიც გამოვიყენეთ გამოსაკვლევი ხსნარისათვის, ამზადებენ ხსნარს, რომელიც შეიცავს ყველა რეაქტივს გამოსაკვლევი ნივთი-

ერების გარდა. ძა"ძინ ორ კიუვეტას ავსებენ არა გამხსნელით, არამედ „ყრუ ცდის" ხსნარით, მაგრამ ამ შემთხვევაში მონაცემები საკალიბრებელი გრაფიკისათვის უნდა მოვხსნათ „ყრუ ცდის" გამოყენებით.

გაზომვა ფოტოკოლორიმეტრზე უნდა ჩავატაროთ შემდეგი მიმდევრობით:

- მარცხენა საჭერში უნდა ჩავდგათ კიუვეტა გამხსნელით, ხოლო მარჯვენას ერთ ბუდეში კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით, ხოლო მეორეში — კიუვეტა გამხსნელით ;
- გავხსნათ შტორი სახელურით 3, მიკრომპერმეტრის ისარი გადაიხრება ნულიდან; მარცხენა ამთვლელი დოლის შემობრუნებით წინ მიმართულებით (საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით). მიკრომპერმეტრის ისარი მივიყვანოთ ნულოვან დანაყოფზე;
- დავხუროთ შტორი;
- კიუვეტების საჭერის სახელურით 4 გადავააადგილოთ კიუვეტები მარჯვენა საჭერში ისე, რომ სინათლის მარჯვენა კონა ხვდებოდეს კიუვეტას გამხსნელით;
- გავხსნათ შტორი, მიკრომპერმეტრის ისარი კვლავ გადაიხრება ნულოვანი დანაყოფიდან;
- მარჯვენა ამთვლელი დოლის შემობრუნებით წინ მიმართულებით (საათის ისრის მიმართულებით) დავაბრუნოთ მიკრომპერმეტრის ისარი ნულზე;
- დავხუროთ შტორი;
- მოვხსნათ ხელსაწყოს ჩვენებები მარჯვენა ამთვლელი დოლის წითელი სკალის მიხედვით;
- შემთხვევითი შეცდომების გამოსარიცხად გაზომვა გავიმეოროთ კიდევ ორჯერ. გამოანგარიშებისათვის შეგვიძლია ავიღოთ გაზომვის გამეორებადი მცირედ განსხვავებული შედეგები;
- საგრადუირებელი მრუდით ან ცხრილის მიხედვით განვსაზღვროთ გამოსაკვლევი ნივთიერების რაოდენობა.

უნდა გვახსოვდეს, რომ რომელიმე ნივთიერების განსაზღვრისათვის აგებული საგრადუირებელი მრუდი გამოსადეგია ძოცებული ნივთიერების განსაზღვრისათვის ძოცებული მეთოდიკით. სხვა ნივთიერებისათვის ან იმავე ნივთიერების სხვა რეაქტივით შეფერადებული ხსნარებისათვის D-ს მნიშვნელობა იგივე კონცენტრაციებისათვის იქნება სხვა, ვინაიდან შეიცვლება შთანთქმის κ მოლური კოეფიციენტი განტოლებაში D=κcl. სხვა ზომის (l) კიუვეტების გამოყენებაც მოითხოვს ახალი საგრადუირებელი მრუდის აგებას.

სამუშაოს დამთავრებისთანავე გამოსაკვლევი ხსნარი და გამხსნელები უნდა გადავასხათ კიუვეტებიდან, კიუვეტები გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით და გადაბრუნებულ მდგომარეობაში მოვათავსოთ საფილტრავ ქაღალდზე. უნდა შევამოწმოთ დახურულია თუ არა შტორი და ამთვლელი დოლები დავაყენოთ ნულზე, ხელსაწყო გამოვრთოთ. თუ საქმე გვაქვს აქროლად ხსნარებთან, კიუვეტებს აუცილებლად უნდა დავახუროთ სახურავები.

ერთსხივიანი ფოტოელექტროკოლორიმეტრებიდან განვიხილოთ КФК-2, КФК-2МП და КФК-3 ტიპის ხელსაწყოები.

КФК-2 ტიპის კონცენტრაციული ფოტოელექტრული კოლორიმეტრი განკუთვნილია ხსნარებისა და გამჭვირვალე მყარი სხეულების გამტარობის კოეფიციენტებისა და ოპტიკური სიმკვრივის გასაზომად 315-980 ნმ ტალღის სიგრძეების დიაპაზონის ცალკეულ უბნებში, აგრეთვე ხსნარებში ნივთიერებათა კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის საგრადუირებელი გრაფიკების აგების მეთოდით.

კოლორიმეტრი აგრეთვე გვაძლევს გამბნევი ტივტივარების, ემულსიებისა და კოლოიდური ხსნარების გამტარობის კოეფიციენტების გაზომვის შესაძლებლობას გამავალ სინათლეში.

გამტარობის კოეფიციენტების გაზომვის ზღვრებია 100-დან 1%-მდე (ოპტიკური სიმკვრივისა — 0-დან 2-მდე).

კოლორიმეტრის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარი გამტარობის კოეფიციენტების გაზომვისას შეადგენს ±1%, ცალკეული დაკვირვების საშუალო კვადრატული გადახრის დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარია 0,3%.

კოლორიმეტრის დამატებითი ცდომილებები, გამოწვეული ქსელის ძაბვის 220 ვ ნომინალური მნიშვნელობის მიმართ ±22 ვოლტით ცვლილებით, აგრეთვე გარემოს ტემპერატურის ცვლილებით 20-დან 35 °C-მდე და 20-დან 10 °C-მდე, არ აღემატება ძირითადი ცდომილების 0,3-ს თითოეულის შემთხვევაში.

კოლორიმეტრის მოხმარებული სიმძლავრეა 55 ვ·ა.

КФК-2 ტიპის ფოტოკოლორიმეტრის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ფოტომიმღებზე სრული და გამოსაკვლევ არეში გასული სინათლის ნაკადების რიგრიგობით მიწოდებაზე და ამ ნაკადების ფარდობის განსაზღვრაზე. ნაკადების ფარდობა წარმოადგენს გამოსაკვლევი ხსნარის გატარების კოეფიციენტს

$$\tau = \frac{I}{I_0} \cdot 100\% \quad . \qquad (38)$$

ამ ფარდობის განსაზღვრა ხდება შემდეგნაირად. ჯერ სინათლის კონაში ათავსებენ კიუვეტას გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით. კოლორიმეტრის მგრძნობიაროობის შეცვლით აღწევენ იმას, რომ ანათვალი n_1 კოლორიმეტრის გატარების კოეფიციენტის სკალით 100-ის ტოლი გახდეს. ამაში სრული სინათლის ნაკადი 100%-ის ტოლად იქნება მიჩნეული. შემდეგ სინათლის კონაში ათავსებენ კიუვეტას გამოსაკვლევი ხსნარით. მიღებული ახალი n_2 ანათვალი გატარების კოეფიციენტის სკალით შეესაბამება I-ს. მაშასადამე, გამოსაკვლევი ხსნარის გატარების კოეფიციენტი პროცენტებში ტოლი იქნება n_2-ისა, ე.ი.

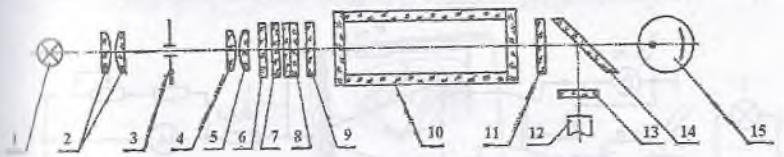
$$\tau,\% = n_2 \quad .$$

ოპტიკური სიმკვრივე D განისაზღვრება ფორმულით:

$$D = -\lg\frac{I}{I_0} = -\lg\frac{\tau}{100} = 2 - \lg\tau \quad . \qquad (39)$$

КФК-2 ტიპის ფოტოკოლორიმეტრის ოპტიკური სქემა მოცემულია 145-ე ნახაზზე.

ნათურის 1 ვარვარების ძაფი კონდენსორით 2 გამოისახება 2 მმ დიამეტრის მქონე დიაფრაგმის 3 სიბრტყეში.



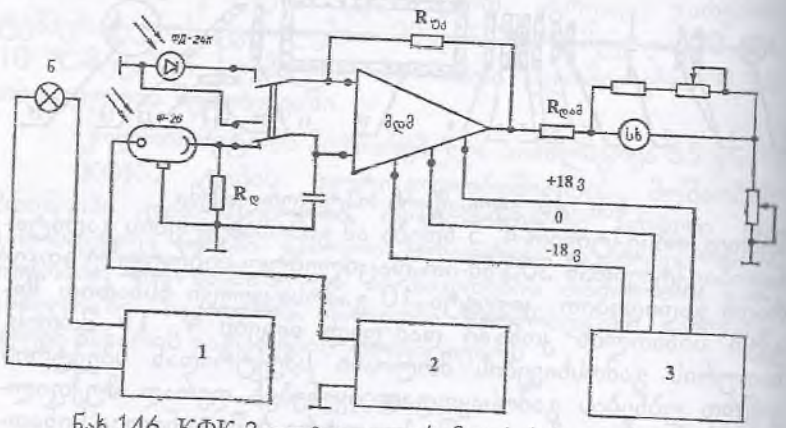
ნახ.145. ხელსაწყოს ოპტიკური სქემა

შემდეგ ობიექტივით 4, 5 ხდება ამ გამოსახულების გადატანა ობიექტივიდან 300 მმ-ით დაცილებულ სიბრტყეზე ათჯერადი გადიდებით. კიუვეტა 10 გამოსაკვლევი ხსნარით შეაქვთ სინათლის კონაში დამცველ მინებს 9, 11 შორის. ნათურის გამოსხივების მთლიანი სპექტრიდან სპექტრის ვიწრო უბნების გამოსაყოფად იყენებენ ფერად შუქფილტრებს 8. თბოდამცველი შუქფილტრი 6 შეტანილია სინათლის კონაში სპექტრის ხილულ არეში (400-590 ნმ) მუშაობისას. სინათლის ნაკადის შესუსტებისათვის 400-540 ნმ სპექტრულ დიაპაზონში მუშაობისას გამოიყენება ნეიტრალური შუქფილტრები 7.

ფოტომიმღებები მუშაობენ სპექტრის სხვადასხვა არეში. მაგალითად, ფოტოელემენტი 15 (Ф-26 ტიპის) განკუთვნილია სპექტრის 315-540 ნმ არისათვის, ხოლო ფოტოდიოდი 12 (ФД-24К ტიპის) — 590-980 ნმ არისათვის. ფირფიტა 14 ყოფს სინათლის ნაკადს ორად: სინათლის ნაკადის დაახლოებით 10% მიემართება ფოტოდიოდზე და 90% — ფოტოელემენტზე. ფოტოდიოდიდან 12 მოხსნილი დენების გათანაბრებისათვის სხვადასხვა ფერის შუქფილტრებთან მუშაობისას მის წინ ათავსებენ ფერადი მინისაგან დამზადებულ შუქფილტრს 13.

კოლორიმეტრის მუშაობის პრინციპის ამხსნელი ბლოკ-სქემა მოცემულია 146-ე ნახაზზე. ის შედგება სინათლის გამოსხივების ელექტრულ სიგნალებში გარდამქმნელებისაგან (ფოტომიმღებებისაგან), მუდმივი დენის მაძლიერებლისაგან (მდმ), ძაბვის სტაბილიზატორებისაგან (1—6,3 ვ ძაბვის სტაბილიზატორი გამანათებელი ნათურის კვებისათვის; 2—(+60±15) ვ ძაბვის სტაბილიზატორი ფო-

ტოელემენტის კვებისათვის), აგრეთვე ±18 ვ ძაბვის წყაროსაგან 3 მაძლიერებლის კვებისათვის.



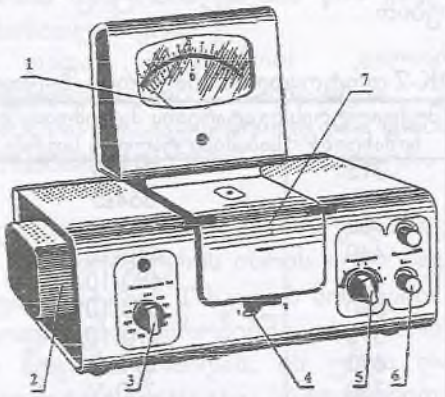
ნახ.146. КФК-2 ფოტოკოლორიმეტრის ბლოკ-სქემა

სინათლის ნაკადი გამოსაკვლევ სხნარში გავლის შემდეგ მოქმედებს ერთდროულად ორივე ფოტომიმღებზე. მუდმივი დენის მაძლიერებლის შესავალი უერთდება ერთ-ერთ ფოტომიმღებს. მიერთებული ფოტომიმღების დენი მდმ-ით გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება საზომ ხელსაწყოს, რომლის ჩვენებაც პროპორციულია გამოსაკვლევ ხსნარში გასული სინათლის ნაკადისა.

ფოტომიმღებები და მუდმივი დენის მაძლიერებელი ყველა მარეგულირებელი და მაკომპენსირებელი ელემენტით განლაგებულია ოპტიკურ ბლოკში, ხოლო ძაბვის სტაბილიზატორი ქსელის ტრანსფორმატორთან ერთად — კვების ბლოკში.

КФК-2 ფოტოკოლორიმეტრის წინა ხედი მოცემულია 147-ე ნახაზზე. კოლორიმეტრი შედგება ოპტიკური ბლოკისაგან 2 და კვების ბლოკისაგან. ოპტიკურ ბლოკში შედის გამანათებელი ბუდე ოპტიკით, შუქფილტრები, საკიუვეტო განყოფილება, კიუვეტების საჭერი, ფოტომეტრული მოწყობილობა მუდმივი დენის მაძლიერებლითა და რეგულირების ელემენტებით, მარეგისტრირებელი ხელსაწყო.

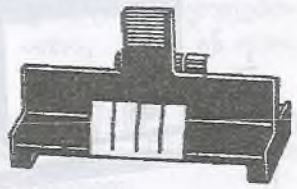
გამანათებლის მექანიზმის კონსტრუქცია უზრუნველყოფს ნათურის გადაადგილებას სამი ურთიერთმართობული მიმართულებით მისი სწორი დაყენებისათვის.



ნახ.147. КФК-2 ფოტოკოლორიმეტრის წინა ხედი:
1-მიკროამპერმეტრი; 2-კოლორიმეტრული ბლოკი; 3-შუქფილტრის შეტანის სახელურები; 4-სახელური კიუვეტების გადაადგილებისათვის; 5-სახელური <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> ფოტომიმღებების გადართვისათვის; 6-სახელური <<УСТАНОВКА 100 ГРУБО, ТОЧНО>>; 7-საკიუვეტო განყოფილების სახურავი

ბუდეში ოპტიკით ჩაშენებულია კონდენსორი, დიაფრაგმა და ობიექტივი.

კოლორიმეტრის შუქფილტრები (ცხრილი14) ჩამონტაჟებულია დისკოში, რომლის შემობრუნება ხდება სახელურით 3. თითოეული შუქფილტრის მუშა მდგომარეობა ფიქსირებულია.



ნახ. 148

კიუვეტების საჭერში (ნახ.148) ვაყენებთ კიუვეტებს გამჭვნელით ან საკონტროლო ხსნარით და საჭერს ვათავსებთ საკიუვეტო განყოფილებაში. კიუვეტების გადართვა სინათლის ნაკადში ხდება სახელურის 5 შემობრუნებით საბჯენამდე.

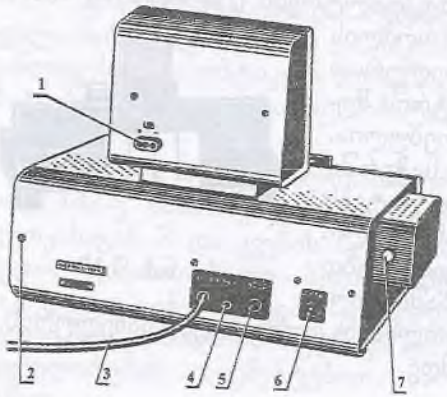
საკიუვეტო განყოფილების სახურავის 7 გახსნილ მდგომარეობაში შტორი ფარავს ფანჯარას ფოტომიმღებების წინ. ფოტომიმღებების გადართვა ხდება სახელურის 5 საშუალებით.

ცხრილი 14

КФК-2 ფოტოკოლორიმეტრის შუქფილტრები

ნიშანდება დისკოზე	შუქფილტრის ნიშანდება	გატარების მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე, ნმ	გატარების ზოლის სიგანე, ნმ
1	315	315±5	35±15
2	364	364±5	25±10
3	400	400±5	45±10
4	440	440±10	40±10
5	490	490±10	35±10
6	540	540±10	25±10
7	590	590±10	30±10
8	670	670±5	20±5
9	750	750±5	20±5
10	870	870±5	25±5
11	980	980±5	25±5

მარეგისტრირებელი ხელსაწყოს სახით გამოყენებულია მიკროამპერმეტრი 1 რომლის სკალაზე დატანილია როგორც გატარების კოეფიციენტების (T) ისე ოპტიკური სიმკვრივის (D)შესაბამისი ნიშნულები. მიკროამპერმეტრის უკანა კედელზე გვაქვს ბუდეები 1 (ნახ.149) 0,1 ვოლტი გაზომვის ზღვრის მქონე ციფრული ვოლტმეტრის მისაერთებლად.



ნახ.149. КФК-2 ფოტოკოლორიმეტრის უკანა ხედი: 1-ბუდეები ციფრული ვოლტმეტრის მისაერთებლად; 2-ხრახნი კვების ბლოკის დასამაგრებლად ; 3-ქსელის ზონარი ჩანგლით; 4-დამიწების მომჭერი; 5-დამცველი; 6-ქსელის ძაბვის ამომრთველი; 7-ხრახნი;

ხელსაწყოს მომზადება. კოლორიმეტრი უნდა ჩავრთოთ ქსელში გაზომვის დაწყებამდე 15 წუთით ადრე. გახურების პროცესში საკიუვეტო განყოფილება უნდა იყოს გახსნილი (ამ დროს ფოტომიმღებების წინ განლაგებული შტორი ფარავს სინათლის კონას).

შემდეგ უნდა დავაყენოთ კოლორიმეტრის მინიმალური მგრძნობიარობა. ამისათვის სახელური <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> დავაყენოთ მდგომარეობაში <<1>>, სახელური <<УСТАНОВКА 100 ГРУБО >> — კიდურა მარცხენა მდგომარეობაში.

გაზომვამდე და ფოტომიმღებების გადართვამდე უნდა შევამოწმოთ კოლორიმეტრის ისრის <<0>> -ზე დაყენება გატარების კოეფიციენტების T სკალის მიხედვით გახსნილი საკიუვეტო განყოფილების პირობებში. თუ ისარი გადახრილია ხულოვანი მდგომარეობიდან, ის უნდა დავიყვანოთ ხულზე პოტენციომეტრის <<НУЛЬ>> საშუალებით.

გატარების კოეფიციენტის გაზომვა ხდება შემდეგი მიმდევრობით:

- სინათლის კონაში მივათავსოთ კიუვეტა გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით, რომლის მიმართაც ვატარებთ გაზომვებს;
- დავხუროთ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი;
- სახელურებით <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> და <<УСТАНОВКА 100 ГРУБО, ТОЧНО>> დავაყენოთ ისარი კოლორიმეტრის სკალის ნიშნულზე <<100>>. მგრძნობიარობის სახელური <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> შეიძლება იმყოფებოდეს სამი შესაძლო მდგომარეობიდან <<1>>, <<2>> ან <<3>> ერთ-ერთში;
- სახელურით 4 ხელსაწყოს წინა პანელზე (ნახ.147) კიუვეტა გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით შევცვალოთ კიუვეტით გამოსაკვლევი ხსნარით;
- გამოსაკვლევი ხსნარის გატარების კოეფიციენტის შესაბამისი ახათვალი ავიღოთ მიკროამპერმეტრის გატარების კოეფიციენტების T სკალის მიხედვით პროცენტებში, ან ოპტიკური სიმკვრივის D სკალის მიხედვით ოპტიკური სიმკვრივის ერთეულებში;

• გაზომვა ჩავატაროთ 3-5-ჯერ და გაზომილი სიდიდის საბოლოო მნიშვნელობის სახით ავიღოთ მიღებული მნიშვნელობების საშუალო არითმეტიკული.

ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრა წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით: ა) შუქფილტრის შერჩევა; ბ) კიუვეტის შერჩევა; გ) მოცემული ნივთიერებისათვის საგრადუირებელი მრუდის აგება; დ) გამოსაკვლევი ნივთიერების ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა და ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრა. ეს საკითხები დეტალურადაა მოცემული ФЭК-56 ტიპის ფოტოკოლორიმეტრის განხილვის დროს.

ხელსაწყოსთან მუშაობისას უნდა შევასრულოთ ექსპლუატაციის შემდეგი მოთხოვნები:

ა) შუქფილტრების გადართვისას სახელურები 5 <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> უნდა იმყოფებოდეს მდგომარეობაში <<1>>, ხოლო სახელური 6 <<УСТАНОВКА 100 ГРУБО >> — კიდურა მარცხენა მდგომარეობაში (მინიმალური მგრძნობიარობა); ამით დავიცავთ საზომ ხელსაწყოს გადატვირთვისაგან;

ბ) გაზომვები უნდა ჩავატაროთ 10-დან 35 °C-მდე ტემპერატურულ დიაპაზონში;

გ) 315, 364, 400, 440, 490, 540 ნმ შუქფილტრებით გაზომვისას (კოლორიმეტრის წინა პანელზე აღნიშნულია შავი ფერით), მგრძნობიარობის სახელურები <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> უნდა დავაყენოთ შავი ფერით აღნიშნული <<1>>, <<2>> , <<3>> მდგომარეობებიდან ერთზე;

დ) 590, 670, 750, 870, 980 ნმ შუქფილტრებით გაზომვისას (კოლორიმეტრის წინა პანელზე აღნიშნულია წითელი ფერით), მგრძნობიარობის სახელურები <<ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ>> უნდა დავაყენოთ წითელი ფერით აღნიშნული <<1>>, <<2>> , <<3>> მდგომარეობებიდან ერთზე;

ე) კიუვეტების მუშა ზედაპირები ყოველი გაზომვის წინ საგულდაგულოდ უნდა გაიწმინდოს სპირტისა და ეთერის ნარევით. კიუვეტების ჩაყენებისას კიუვეტების

საჭერში არ უნდა შევეხოთ თითებით ზედაპირების მუშა ნაწილებს (კიუვეტაში ხსნარის დონის ქვევით);

ვ) სითხის ჩასხმა უნდა მოხდეს კიუვეტის გვერდით კედელზე აღნიშნულ ნიშნულამდე.

КФК-2МП მიკროპროცესორული ფოტოკოლორიმეტრის ოპტიკური სქემა ისეთივეა, როგორც КФК-2М კოლორიმეტრისა.

აქ სინათლის ნაკადები ფოტომიმღებებით გარდაიქმნება ელექტრულ U_0 და U სიგნალებში, რომელთა დამუშავება ხდება კოლორიმეტრის მოკრო-ეგმ-ით და შედეგის წარმოდგენა — ციფრულ ტაბლოზე გატარების კოეფიციენტის, ოპტიკური სიმკვრივის, კონცენტრაციის, აქტიურობის სახით.

მიკრო-ეგმ-ის საშუალებით გამოსაკვლევი ხსნარის გატარების კოეფიციენტი τ გამოითვლება ფორმულით

$$\tau = \left(\frac{U - U_{gნ}}{U_0 - U_{gნ}} \right) \cdot 100\% , \qquad (40)$$

სადაც $U_{gნ}$ სიგნალის სიდიდეა გადაფარული სინათლის ნაკადის დროს.

გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე D გამოითვლება ფორმულით

$$D = - \lg \left(\frac{U - U_{gნ}}{U_0 - U_{gნ}} \right) . \qquad (41)$$

გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის გაზომვა კოლორიმეტრით შესაძლებელია შუქთანთქმის ძირითადი კანონის დაცვისას, ე.ი. თუ ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე D წრფივად იქნება დამოკიდებული C კონცენტრაციაზე: D=c+bC. მაშინ

$$C = \frac{D - c}{b} , \qquad (42)$$

სადაც c,b საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით განსაზღვრული კოეფიციენტებია.

აქტიურობა A განისაზღვრება ფორმულით

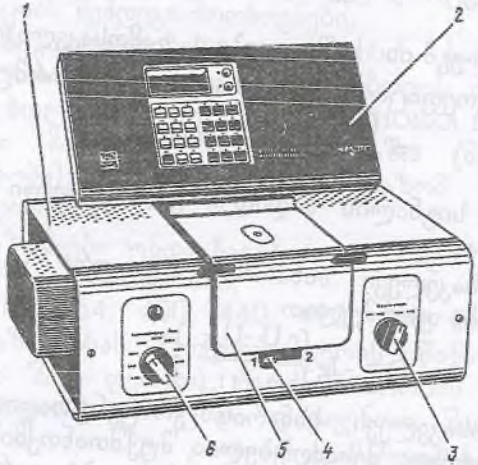
$$A = \frac{\frac{D_2 - D_1}{t} - c}{b}, \qquad (43)$$

სადაც D_1 და D_2 გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივეა გაზომვის დასაწყისსა და ბოლოში;

t — გაზომვის დრო წუთებში.

საგრადუირებელი მახასიათებლის მიღება ხდება მომხმარებლის მიერ ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების მიხედვით.

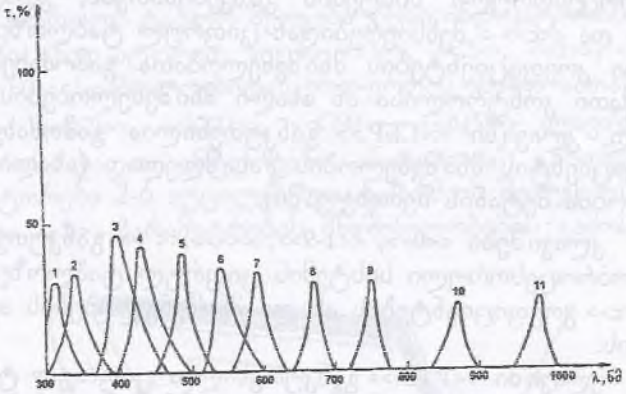
КФК-2МП კოლორიმეტრის წინა ხედი მოცემულია 150-ე ნახაზზე.



ნახ.150. КФК-2МП კოლორიმეტრის წინა ხედი:
1-კოლორიმეტრული ბლოკი; 2-გამოთვლითი ბლოკი; 3-სახელური ფოტომიმღებების გადართვისათვის; 4-სახელური <<1-2>> კიუვეტების გადაადგილებისათვის; 5-საკიუვეტო განყოფილების სახურავი; 6-შუქფილტრების შეტანის სახელური

კონცენტრაციული ფოტოელექტრული კოლორიმეტრი КФК-2МП შედგება კოლორიმეტრული ბლოკისაგან 1, გამოთვლითი ბლოკისაგან 2 და კვების ბლოკისაგან. კოლორიმეტრულ ბლოკში შედის გამახათებელი, ოპტიკური კვანძი, შუქფილტრები; საკიუვეტო განყოფილება, კიუვეტების საჭერი, ფოტომეტრული მოწყობილობა მუდმივი დენის მაძლიერებლითა და რეგულირების ელემენტებით.

განსახილველი კოლორიმეტრის შუქფილტრები КФК-2 კოლორიმეტრის მსგავსად ჩამონტაჟებულია დისკოში. ამ შუქფილტრების ნიშანდება და პარამეტრები ძირითადად ისეთივეა, როგორც მე-14 ცხრილში. განსხვავდება მხოლოდ №2 შუქფილტრი, რომელსაც КФК-2МП კოლორიმეტრში შეესაბამება ნიშანდება <<340>>, გააჩნია გატარების მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე 340±10 ნმ და მისი გატარების ზოლი არ აღემატება 45 ნმ. თერთმეტივე გამოყენებული შუქფილტრის სპექტრული მახასიათებელი მოცემულია 151-ე ნახაზზე.



ნახ.151. შუქფილტრების სპექტრული მახასიათებლები

კოლორიმეტრს თან ახლავს სწორკუთხა კიუვეტების ანაწყობი №2 (ნახ.143), რომელთა მუშა სიგრძე და მოცულობა მოცემულია მე-15 ცხრილში

ცხრილი 15

კიუვეტის მუშა სიგრძე, მმ	50	30	20	10	5
მოცულობა, მლ	20	14	9	5	2,3

ანაწყობში შედის თითოეული ზომის სამ-სამი კიუვეტა. ამ კიუვეტების ჩაყენება ხდება უშუალოდ კიუვეტების საჭერში, გადაადგილება — სახელურით 4. მდგომარეობაში <<1>> სინათლის კონა გადის კიუვეტაში გამჭვირვალით,

მდგომარეობაში <<2>> — კიუვეტაში გამოსაკვლევი ხსნარით. საკიუვეტო განყოფილებას აქვს ასახდელი სახურავი, ღია მდგომარეობაში მისი ყოფნისას შტორი ავტომატურად ფარავს სინათლის კონას.

ფოტომეტრული მოწყობილობა მსგავსია КФК-2-ის ანალოგიური მოწყობილობისა. ფოტომიმღების გადართვა ხდება სახელურით 3.

გამოთვლით ბლოკში 2 შედის მიკროპროცესორული სისტემა <<ЭЛЕКТРОНИКА МС 2703>>. ამ სისტემის წინა პანელზე განლაგებულია კლავიატურა, ციფრული ტაბლო და ორი სასიგნალო შუქდიოდი. კლავიატურა შედგება 24 კლავიშისაგან. კლავიში <<ПУСК>> განკუთვნილია მიკროპროცესორული სისტემის გაშვებისათვის, კლავიშები <<b>> და <<c>> – მეხსიერებიდან ციფრულ ტაბლოზე შესაბამისი კოეფიციენტების მნიშვნელობათა გამოძახებისათვის მათი კონტროლისა ან ახალი მნიშვნელობების შესატანად. კლავიში <<СБР.>> განკუთვნილია გამოძახებული კოეფიციენტის მნიშვნელობის წასაშლელად (ახალი მნიშვნელობის შეტანის შემთხვევაში).

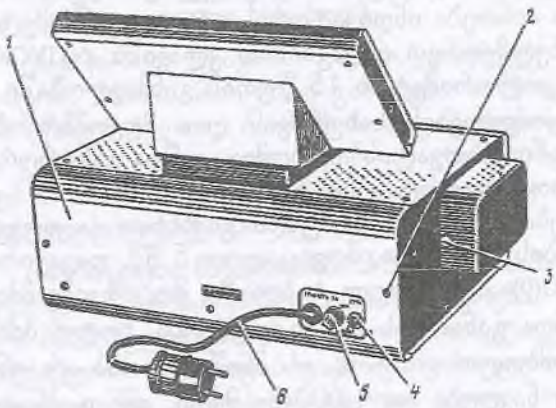
კლავიშები <<0>>, <<1-9>>, <<->>,<< >> განკუთვნილია მიკროპროცესორული სისტემის ციფრულ ტაბლოზე <<b>> ან <<c>> კოეფიციენტების ახალი მნიშვნელობების აკრეფისათვის.

კლავიში <<УТВ.>> განკუთვნილია ციფრულ ტაბლოზე აკრეფილი კოეფიციენტების ახალი მნიშვნელობების სისტემის მეხსიერებაში ჩაწერისათვის.

კლავიშები <<K(1)>>, <<τ(2)>>, <<Д(5)>>, <<C(4)>> განკუთვნილია ხელსაწყოს დაკალიბრებისათვის, გატარების კოეფიციენტის, გამოსაკვლევი ნივთიერების ოპტიკური სიმკვრივის, ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის გაზომვისათვის; კლავიში <<A(3)>> განკუთვნილია აქტიურობის გაზომვისათვის.

კლავიში <<Ц/Р>> განკუთვნილია მიკროპროცესორული სისტემის გადაყვანისათვის გაზომვის შესრულების ერთ-ერთ რეჟიმში: ციკლური ან ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში. ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში გაზომვა ტარდება მხოლოდ ერთხელ (სათანადო კლავიშის დაჭერისას); ციკლური გაზომვების რეჟიმში პირველი გაზომვა სრულდება სათანადო კლავიშზე დაჭერისას და შემდეგ ციკლურად (არა ნაკლებ 5 წმ პერიოდისა) მეორდება, ვიდრე მიკროპროცესორულ სისტემას არ გადავიყვანთ ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში. მიკროპროცესორული სისტემის გადაყვანა ციკლური გაზომვების რეჟიმიდან ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში და შებრუნებით ხდება <<Ц/Р>> კლავიშზე დაჭერით. სასიგნალო შუქდიოდებით <<Ц>> და <<Р>> ხდება გაზომვის რეჟიმის ასახვა. თუ მიკროპროცესორული სისტემა იმყოფება ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში, ანთებულია შუქდიოდი <<Р>>, წინააღმდეგ შემთხვევაში — <<Ц>>.

ციფრული ტაბლო შედგება ექვსი ინდიკატორისაგან. პირველი ინდიკატორით ხდება <<3>>, <<2>>, <<1>>, <<4>>, <<5>>, <<0>> სიმბოლოებიდან ერთ-ერთის ასახვა სათანადო <<A(3)>>, <<τ(2)>>, <<K(1)>>, <<C(4)>>, <<Д(5)>> კლავიშებზე დაჭერისას და по „ნულოვანი ანათვალის“ გაზომვისას. ინდიკატორები 2-6 აუცილებელია გაზომვის შედეგებისა და <<c>> და <<b>> პარამეტრების მნიშვნელობების გამოსატანად.



ნახ.152. КФК-2МП კოლორიმეტრის უკანა ხედი:
1- კვების ბლოკი; 2-კვების ბლოკის ხრახნი; 3-ხრახნი; 4-ქსელის ძაბვის ამომრთველი; 5-დამცველი; 6-ქსელის ელექტრული ზონარი ჩანგლით

მიკროპროცესორული სისტემის კლავიში <<Ш(0)>> განკუთვნილია n_0 „ნულოვანი ანათვალის“ (გაზომვის) შეძოწმებისათვის.

КФК-2МП კოლორიმეტრის კვების ბლოკში 1 (ნახ.152) განლაგებულია ძაბვების სტაბილიზატორები გამართველებით, ძალური ტრანსფორმატორი. კვების ბლოკის ჩაყენება ხდება ხელსაწყოს უკანა მხრიდან მიმმართველებით, დამაგრება — ხრახნებით 2.

კვების ბლოკის უკანა კედელზე განლაგებულია ქსელის ელექტრული ზონარი ჩანგლით 6, ორ ამპერიანი დამცველი 5 და ქსელის ძაბვის ამომრთველი (ტუმბლერი) 4. დაშიწების კონტაქტი გათვალისწინებულია ჩანგალზე. ჩანგალი უნდა მიუერთდეს დამაშიწებელ სალტესთან შეერთებულ როზეტს.

ხელსაწყოს მომზადება. კოლორიმეტრი ჩავრთოთ 220 ვ ძაბვის ქსელში, გავხსნათ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი და ჩავრთოთ ქსელის ტუმბლერი <<СЕТЬ>>. ამ დროს უნდა აინთოს სასიგნალო ნათურა (ციფრულ ტაბლოზე შეიძლება გაჩნდეს სხვადასხვა სიმბოლო).

დავაჭიროთ კლავიშს <<ПУСК>> — ციფრულ ტაბლოზე პირველი ინდიკატორის შემდეგ გაჩნდება მოციმციმე მძიმე და აინთება ინდიკატორი <<Р>>. თუ მძიმე არ გამოჩნდა — ხელმეორედ დავაჭიროთ კლავიშს <<ПУСК>>. გავახუროთ კოლორიმეტრი 15 წუთის განმავლობაში საკიუვეტო განყოფილების სახურავის ღია მდგომარეობისას. n_0 „ნულოვანი ანათვალის“ გაზომვა უნდა განვახორციელოთ მიკროპროცესორული სისტემის <<Ш(0)>> — კლავიშის საშუალებით. ამისათვის უნდა გავხსნათ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, მოვიცადოთ 5 წმ, დავაჭიროთ კლავიშს <<Ш(0)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ უნდა განათდეს n_0 მნიშვნელობა, ხოლო მძიმის მარცხნივ სიმბოლო <<0>>. n_0- ის მნიშვნელობა არ უნდა იყოს 0,001-ზე ნაკლები და 1,000-ზე მეტი. თუ n_0 ანათვალი არ თავსდება აღნიშნულ ფარგლებში, უნდა მოვახდინოთ საწყისი კორექტირება პოტენციომეტრით <<НУЛЬ>>. ამ უკანასკნელის რეგულატორი ჩანს კოლორიმეტრული ბლოკის მარჯვენა კედელზე არსებულ ნახვრეტში. n_0 „ნულოვანი ანათვალი“ უნდა დავაყენოთ ყოველი ფოტომეტრირებისას.

გატარების კოეფიციენტის გაზომვა ერთეულოვანი გაზომვის რეჟიმში წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით:

- საკიუვეტო განყოფილებაში ჩავაყენოთ კიუვეტები გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით (რომლის მიმართაც ვატარებთ გაზომვას) და გამოსაკვლევი ხსნარით. კიუვეტა გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით უნდა მოვათავსოთ კიუვეტის საჭერის შორეულ ბუდეში, ხოლო კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით — ახლო ბუდეში. სახელსურით 6 წინა პანელზე დავაყენოთ საჭირო შუქფილტრი, ხოლო სახელსურით 3 — საჭირო ფოტომიმღები;

- სახელსური 4 დავაყენოთ კიდურა მარცხენა მდგომარეობაში <<1>> (ამ დროს სინათლის კონაში იმყოფება კიუვეტა გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით);

- დავხუროთ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი 5, დავაჭიროთ კლავიშს <<К(1)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ აინთება სიმბოლო <<1>>;

- შემდეგ სახელსური 4 დავაყენოთ კიდურა მარჯვენა მდგომარეობაში <<2>> (ამ დროს სინათლის კონაში იქნება კიუვეტა გამოსაკვლელი ხსნარით);

- დავაჭიროთ კლავიშს <<т(2)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გაჩნდება სიმბოლო <2>>, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მოხდა გატარების კოეფიციენტის გაზომვა. ანათვალი ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ შეესაბამება გამოსაკვლევი სხნარის გატარების კოეფიციენტს პროცენტებში;

- ოპერაციები ჩავატაროთ 3-5-ჯერ. გასაზომი ხსნარის გატარების კოეფიციენტი განისაზღვრება როგორც მიღებული მნიშვნელობების საშუალო არითმეტიკული.

ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში. განვახორციელოთ ყველა ოპერაცია, რომელიც აღწერილია გატარების კოეფიციენტის გაზომვისას. შემდეგ დავაჭიროთ კლავიშს <<Д(5)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გაჩნდება სიმბოლო

<<5>>, რაც მოასწავებს იმას, რომ მოხდა ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა. ანათვალი ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ შეესაბამება გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს. გაზომვა უნდა გავიმეოროთ 3-5-ჯერ და ოპტიკური სიმკვრივე განვსაზღვროთ როგორც საშუალო არითმეტიკული მიღებული მნიშვნელობებისა.

ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის გაზომვა ერთეულოვანი გაზომვების რეჟიმში. გაზომვისას უნდა დავიცვათ შემდეგი მიმდევრობა: ა) შევირჩიოთ შუქფილტრი; ბ) შევირჩიოთ კიუვეტა; გ) ავაგოთ საგრადუირებელი გრაფიკი მოცემული ნივთიერებისათვის და განვსაზღვროთ კოეფიციენტები <<c>> და <<b>>; დ) შევიტანოთ <<c>> და <<b>> კოეფიციენტები გამოთვლითი ბლოკის მეხსიერებაში; ე) გავზომოთ ნივთიერების კონცენტრაცია.

ა) და ბ) პუნქტები დეტალურად იყო აღწერილი ФЭК-56 ფოტოკოლორიმეტრის განხილვის დროს. ამიტომ აქ დეტალურად შევჩერდეთ მოცემული ნივთიერებისათვის საგრადუირებელი გრაფიკის აგებაზე და <<c>> და <<b>> კოეფიციენტების განსაზღვრაზე:

- საგრადუირებელი გრაფიკის ასაგებად მოვამზადოთ მოცემული ნივთიერების ხსნარების მწკრივი ცნობილი კონცენტრაციებით (ეს კონცენტრაციები უნდა მოიცავდნენ გამოსაკვლევ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციათა ცვლილების შესაძლო არეს);

- გავზომოთ ყველა ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე და ავაგოთ საგრადუირებელი გრაფიკი. ამისათვის აბსცისათა ღერძზე გადავდოთ ცნობილი კონცენტრაციები, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — მათი შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობები. საგრადუირებელი გრაფიკის მიხედვით განვსაზღვროთ <<c>> და <<b>> კოეფიციენტები.

c=Di ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობაა C=0 დროს, ე.ი. საგრადუირებელი გრაფიკის ორდინატთა ღერძთან გადაკვეთისას,

$b=tg\alpha=(Di-c)/Ci$,

სადაც α კუთხეა საგრადუირებელ წრფესა და კონცენტრაციათა C ღერძს შორის;

(Ci, Di) — საგრადუირებელი გრაფიკის მიმდინარე წერტილი;

- შევიტანოთ გამოთვლითი ბლოკის მეხსიერებაში <<c>> და <<b>> კოეფიციენტები. ამისათვის დავაჭიროთ კლავიშებს <<c>> (<<b>>), <<СБР.>> — ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გამოჩნდება სიმბოლო <<c>> (<<b>>), კლავიატურის საშუალებით ავკრიბოთ <<c>> (<<b>>) კოეფიციენტების მნიშვნელობა. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ განათდება კოეფიციენტის აკრეფილი მნიშვნელობა. შემდეგ დავაჭიროთ კლავიშს <<УТВ.>> — ინფორმაცია შეტანილი იქნება მეხსიერებაში;

- თუ <<c>> ან <<b>> კოეფიციენტების მეხსიერებაში შეტანისას ციფრულ ტაბლოზე განათდება საჭიროსაგან განსხვავებული მნიშვნელობა, ყველა ოპერაცია უნდა გავიმეოროთ;

- თუ რომელიმე კოეფიციენტის შეტანა არ მოხდა, მაშინ ეს კოეფიციენტი საწყისი მნიშვნელობის ტოლია (c კოეფიციენტისათვის საწყისი მნიშვნელობაა 0,000, ხოლო b კოეფიციენტისათვის—1,000);

- გაზომვის პროცესში <<c>> და <<b>> კოეფიციენტების მნიშვნელობათა კონტროლისათვის გათვალისწინებულია მათი მნიშვნელობების გამოტანა ციფრულ ტაბლოზე. ამისათვის უნდა დავაჭიროთ კლავიშს <<c>> (<<b>>) — ციფრულ ტაბლოზე განათდება მათი მნიშვნელობა;

- გამოსაკვლევი ხსნარი ჩავასხათ იმავე კიუვეტაში, რომლის გამოყენებითაც ჩატარდა კოლორიმეტრის გრადუირება და დავაყენოთ იგივე შუქფილტრი;

- დავაჭიროთ კლავიშს <<C(4)>>. ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გაჩნდება სიმბოლო <<(4)>>, რაც ნიშნავს, რომ მოხდა გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის გაზომვა. ციფრული ტაბლოს ანათვალი მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ შეესაბამება გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის მნიშვნელობას. გამოსაკვლევი ხსნარისათვის გაზომვის ოპერაცია გავიმეოროთ 3-5-ჯერ და ავიღოთ მიღებული მნიშვნელობების საშუალო არითმეტიკული;

• თუ ოპტიკური D სიმკვრივის ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციაზე დამოკიდებულება წრფივი არაა, მაშინ კონცენტრაცია მოიძებნება საგრადუირებელი გრაფიკის მიხედვით. ამისათვის ხსნარი უნდა ჩავასხათ იმავე კიუვეტაში, რომლის გამოყენებითაც ავაგეთ საგრადუირებელი გრაფიკი, ჩავრთოთ იგივე შუქფილტრი და გავზომოთ ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე. შემდეგ საგრადუირებელი გრაფიკით უნდა მოვძებნოთ ოპტიკური სიმკვრივის გაზომილი მნიშვნელობის შესაბამისი კონცენტრაცია.

გაზომვები ციკლურ რეჟიმში პერიოდით 5 წმ

გატარების τ კოეფიციენტის გაზომვა ციკლურ რეჟიმში:

• საკიუვეტო განყოფილებაში მოვათავსოთ კიუვეტები გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით და გაზომსაკვლევი ხსნარით, სახელურით 6 დავაყენოთ საჭირო შუქფილტრი, ხოლო სახელურით 3 — საჭირო ფოტომიმღები;

• სახელური 4 დავაყენოთ მდგომარეობაში <<1>>, რის შედეგადაც კიუვეტა გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით აღმოჩნდება სინათლის კონაში;

• გავხსნათ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<ПУСК>> შემდეგ <<Ц/Р>> (დავაყენოთ ციკლური მუშაობის რეჟიმი <<Ц>>) და <<Ш(0)>> ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<0>>, მარჯვნივ — n_0 მნიშვნელობა. დავხუროთ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<K(1)>>, ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<1>>;

• სახელურის 4 მდგომარეობაში <<2>> გადაყვანით სინათლის ნაკადში მოვათავსოთ კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით;

• დავაჭიროთ კლავიშს <<τ(2)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გაჩნდება სიმბოლო <<2>>, ხოლო მარჯვნივ არა ნაკლებ 5 წამიანი ინტერვალით განათდება გატარების τ კოეფიციენტის გაზომილი მნიშვნელობები.

ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა ციკლურ რეჟიმში:

♦ საკიუვეტო განყოფილებაში მოვათავსოთ კიუვეტები გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით და გამოსაკვლევი ხსნარით, სახელურით 6 დავაყენოთ საჭირო შუქფილტრი, ხოლო სახელურით 3 — საჭირო ფოტომიმღები;

♦ სახელური 4 დავაყენოთ მდგომარეობაში <<1>>;

♦ გავხსნათ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<ПУСК>>, შემდეგ <<Ц/Р>> (დავაყენოთ ციკლური მუშაობის რეჟიმი <<Ц>>) და <<Ш(0)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<0>>, მარჯვნივ —n_0 მნიშვნელობა. დავხუროთ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<K(1)>>, ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<1>>;

♦ სახელურით 4 მისი მდგომარეობაში <<2>> გადაყვანით სინათლის ნაკადში მოვათავსოთ კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით;

♦ დავაჭიროთ კლავიშს <<Д(5)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<5>>, ხოლო მარჯვნივ არა ნაკლებ 5 წამიანი ინტერვალისა განათდება ოპტიკური სიმკვრივის გაზომილი მნიშვნელობები.

C კონცენტრაციის გაზომვა ციკლურ რეჟიმში:

▪ საკიუვეტო განყოფილებაში მოვათავსოთ კიუვეტები გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით და გამოსაკვლევი ხსნარით, სახელურით 6 დავაყენოთ საჭირო შუქფილტრი, ხოლო სახელურით 3 — საჭირო ფოტომიმღები;

▪ სახელური 4 დავაყენოთ მდგომარეობაში <<1>>;

▪ გავხსნათ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<ПУСК>>. კლავიშის <<Ц/Р>> საშუალებით დავაყენოთ მუშაობის რეჟიმი <<Ц>> (უნდა აინთოს შუქდიოდი <<Ц>>). დავაჭიროთ კლავიშს <<Ш(0)>>, ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<0>>, მარჯვნივ —n_0-ის მნიშვნელობა;

- შევიტანოთ სისტემის მეხსიერებაში <<c>> და <<b>> კოეფიციენტების მნიშვნელობები. ამისათვის დავაჭიროთ კლავიშებს <<c>> (<<b>>), <<СБР.>>, — ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<c>> (<<b>>), კლავიატურის საშუალებით ავკრიფოთ <<c>> (<<b>>) კოეფიციენტების მნიშვნელობა. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ განათდება კოეფიციენტის აკრეფილი მნიშვნელობა. შემდეგ დავაჭიროთ კლავიშს <<УТВ.>> — ინფორმაცია შეტანილი იქნება მეხსიერებაში;
- დავხუროთ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<K(1)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ განათდება სიმბოლო <<1>>;
- სახელსურით 4 მისი მდგომარეობაში <<2>> გადაყვანით შევიტანოთ სინათლის კონაში კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით;
- დავაჭიროთ კლავიშს <<C(4)>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გაჩნდება სიმბოლო <<4>>, ხოლო მარჯვნივ არა ნაკლებ 5 წამიანი ინტერვალით განათდება გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციების მნიშვნელობები.

აქტიურობის გაზომვა:

- საკიუვეტო განყოფილებაში მოვათავსოთ კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით;
- კლავიში <<Ц/Р>> გადავიყვანოთ რეჟიმში <<Р>> (უნდა აინთოს შუქდიოდი <<Р>>);
- დავხუროთ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი. შევიტანოთ გამოთვლითი ბლოკის მეხსიერებაში <<c>> და <<b>> კოეფიციენტები, რომლებიც მოძებნილია წინასწარ;
- დავაჭიროთ კლავიშებს <<A(3)>>, <<СБР.>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ უნდა განათდეს სიმბოლო <<J>>, ხოლო მარჯვნივ 0,000;
- შევიტანოთ მეხსიერებაში დროის მნიშვნელობა t, რომლის შემდეგაც უნდა მოხდეს A აქტიურობის გაზომვა. ამისათვის უნდა დავაჭიროთ <<1>>-<< 9>> კლავიშებიდან ერთ-ერთს (დრო მეხსიერებაში შეიტანება წამებში და

შეიძლება მიიღოს 10, 20,..., 90 წმ-ის ტოლი მნიშვნელობები);

- დავაჭიროთ კლავიშს <<УТВ.>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ სიმბოლო <<J>> გაქრება და მის ნაცვლად განათდება სიმბოლო <<3>>. t დროის შემდეგ ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ განათდება A აქტიურობის მნიშვნელობა;
- თუ დაგვჭირდება იმავე ხსნარის აქტიურობის გაზომვა დაყენებული t დროის შემდგომ მონაკვეთში, უნდა დავაჭიროთ კლავიშს <<A(3)>>, შემდეგ <<УТВ.>>.

КФК-3 ტიპის მიკროპროცესორული ფოტოელექტრული ფოტომეტრი განკუთვნილია გამჭვირვალე ხსნარების და გამჭვირვალე მყარი სხეულების გამტარობის კოეფიციენტისა და სიმკვრივის, აგრეთვე ნივთიერების ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის გასაზომად და ხსნარებში ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის მომხმარებლის მიერ ფოტომეტრის წინასწარი გრადუირების შემდეგ.

ფოტომეტრის მუშაობის სპექტრული დიაპაზონია 315-დან 990 ნმ-მდე. მადისპერგირებელი ელემენტის სახით აქ შუქფილტრების ნაცვლად გამოიყენება ჩაღუნული (R=250 მმ) დიფრაქციული გისოსი 1 მმ-ზე 1200 შტრიხით. ფოტომეტრის მონოქრომატორით გამოყენებული სპექტრული ინტერვალი არ აღემატება 7 ნმ-ს, ხოლო ტალღის სიგრძის დაყენების ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების დასაშვები ზღვარი — 3 ნმ-ს.

გამტარობის კოეფიციენტის გაზომვის ზღვრებია 0,1-დან 100%-მდე, ხოლო ოპტიკური სიმკვრივისა —0-დან 3-მდე. გამტარობის კოეფიციენტის 0,1-დან 1-მდე და ოპტიკური სიმკვრივის 2-დან 3-მდე გაზომვის დიაპაზონში ცდომილებების ნორმირება არ ხდება. რაც შეეხება დანარჩენ დიაპაზონებს, აქ ფოტომეტრის ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარი გამტარობის კოეფიციენტის გაზომვისას შეადგენს 0,5%-ს; ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების შემთხვევითი შემდგენის საშუალო კვადრატული გადახრის დასაშვები ზღვა-

რია 0,15%; ფოტომეტრის დამატებითი ცდომილების გადახრის დასაშვები ზღვარი გამტაროობის კოეფიციენტის გაზომვისას ტემპერატურულ ინტერვალებში 20-დან 35 °C-მდე და 20-დან 10 °C-მდე არ აღემატება 0,3%.

ფოტომეტრის კვება ხდება ცვლადი დენის ქსელიდან ძაბვით (220±22)ვ; მოხმარებული სიმძლავრე არ აღემატება 60 ვ·ა.

მოქმედების პრინციპი. ფოტომეტრის მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია შესადარებელ გამხსნელსა ან საკონტროლო ხსნარში გასული Φ_0 სინათლის ნაკადისა და გამოსაკვლევ გარემოში გასული Φ სინათლის ნაკადის შედარებაზე. Φ_0 და Φ სინათლის ნაკადები ფოტომიმღებით გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალებში U_0, U და $U_{გ6}$ ($U_{გ6}$ —სიგნალია გადაფარული სინათლის ნაკადის დროს). ელექტრული სიგნალების გადამუშავება ხდება ფოტომეტრის მიკროპროცესორული სისტემით და ციფრულ ტაბლოზე ვიღებთ გამტაროობის კოეფიციენტის, ოპტიკური სიმკვრივის, ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის, კონცენტრაციის შესაბამის ჩვენებებს.

გამოსაკვლევი ხსნარის გამტაროობის კოეფიციენტი τ განისაზღვრება როგორც ნაკადების ან სიგნალების ფარდობა

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100\% = \left(\frac{U - U_{გ6}}{U_0 - U_{გ6}}\right) \cdot 100\% \quad . \qquad (44)$$

ოპტიკური სიმკვრივე D მოიძებნება ასეთნაირად:

$$D = \lg\frac{1}{\tau} = \lg\left(\frac{U_0 - U_{გ6}}{U - U_{გ6}}\right) . \qquad (45)$$

ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით

$$A = \frac{D_2 - D_1}{t} \quad , \qquad (46)$$

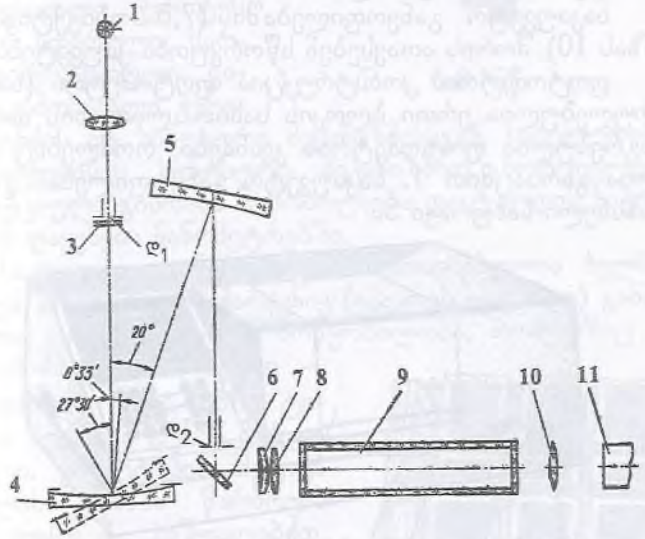
სადაც $D_2 - D_1$ — ოპტიკური სიმკვრივეების მნიშვნელობათა სხვაობაა t დროითი ინტერვალის განმავლობაში (დრო t იღებს შემდეგ მნიშვნელობებს: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 და 9 წუთი).

კონცენტრაცია მიკროპროცესორული სისტემით განისაზღვრება შემდეგნაირად

$$C = D \cdot F, \qquad (47)$$

სადაც F ფაქტორიზაციის კოეფიციენტია, რომელიც განისაზღვრება მომხმარებლის მიერ. მისი შეტანა ხდება ციფრული კლავიატურიდან 0,001-დან 9999 -მდე ფარგლებში.

ფოტომეტრის ოპტიკური სქემა. მადისპერგირებელი გისოსის გამოყენება აპირობებს ფოტომეტრის ოპტიკური სქემის არსებით განსხვავებას КФК-2 და КФК-2МП ფოტოკოლორიმეტრების შესაბამისი სქემებისაგან (ნახ.153).



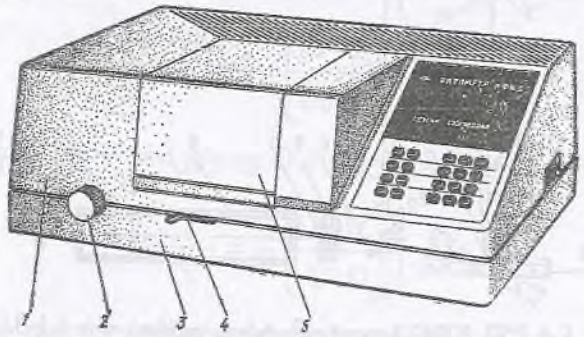
ნახ.153. КФК-3 ფოტომეტრის ოპტიკური სქემა

ნათურის 1 ძაფი გამოისახება კონდენსორით 2 $д_1$ დიაფრაგმის სიბრტყეში. შემდეგ დიაფრაგმა $д_1$ გამოისახება ჩაზნექილი დიფრაქციული გისოსით 4 და ჩაზნექილი სარკით 5 ასეთივე ჰვრიტეებიანი (0,8X4,0) $д_2$ დიაფრაგმის

სიბრტყეში. დიფრაქციული გისოსი და სარკე 5 ქმნიან d_2 დიაფრაგმის სიბრტყეში სპექტრის გაჭიმულ სურათს. გისოსის შტრიხების პარალელური ღერძის გარშემო დიფრაქციული გისოსის შემობრუნებისას d_2 დიაფრაგმის ჭვრიტეს საშუალებით გამოყოფენ 315-დან 990 ნმ-მდე ნებისმიერი სიგრძის ტალღის გამოსხივებას. ობიექტივი 7, 8 ქმნის საკიუვეტო განყოფილებაში სინათლის კრებად კონას და აფორმირებს d_2 ჭვრიტეს გადიდებულ გამოსახულებას ლინზის 10 წინ. ამ ლინზის საშუალებით ხდება სინათლის კონის შეკრება მიმღებზე 11 თანაბრად განათებული სინათლის წრის სახით. სპექტრის ულტრაიისფერ არეში (315-400 ნმ) გაბნეული სინათლის ზეგავლენის შესამცირებლად d_1 დიაფრაგმის შემდეგ აყენებენ შუქფილტრს 3. სპექტრის სხვა არეებში ხდება ამ შუქფილტრის ავტომატური გამოტანა.

საკიუვეტო განყოფილებაში (7,8 ობიექტივსა და ლინზას 10) შორის ათავსებენ სწორკუთხა კიუვეტებს.

ფოტომეტრის კონსტრუქცია. ფოტომეტრი (ნახ.154) შესრულებულია ერთი ბლოკის სახით. ლითონის ძირზე 3 დამაგრებულია ფოტომეტრის კვანძები, რომლებიც დაფარულია გარსაცმით 1. საკიუვეტო განყოფილებას გააჩნია მოსახსნელი სახურავი 5.



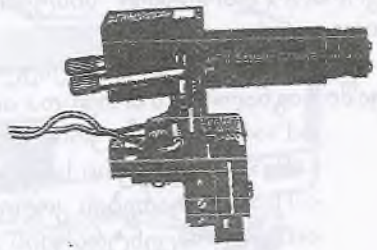
ნახ.154. КФК-3 ფოტომეტრის წინა ხედი:
1-გარსაცმი; 2-სახელური დიფრაქციული გისოსის შემოსაბრუნებლად; 3-ძირი; 4-სახელური კიუვეტების გადაადგილებისათვის; 5-საკიუვეტო განყოფილების სახურავი

ფოტომეტრში შედის ფოტომეტრული ბლოკი, კვების ბლოკი, მიკროპროცესორული სისტემა.

ფოტომეტრულ ბლოკში შედის გამანათებელი, მონოქრომატორი, საკიუვეტო განყოფილება, კიუვეტების საჭერი, ფოტომეტრული მოწყობილობა.

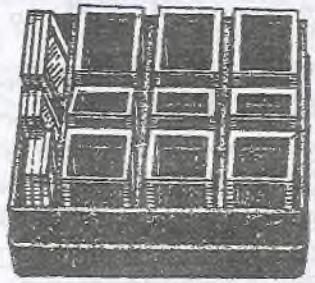
გამანათებლის მექანიზმის კონსტრუქცია (ნახ.155) უზრუნველყოფს ნათურის გადაადგილებას სამი ურთიერთმართობული მიმართულებით.

მონოქრომატორი მოთავსებულია ხელსაწყოს მარცხენა ნაწილში. ის გამოიყენება საჭირო სპექტრული შედგენილობის გამოსხივების მისაღებად და შედგება კორპუსის, შესავალი ჭვრიტეს კვანძის, სფერული სარკის, დიფრაქციული გისოსის, გამოსავალი ჭვრიტეს კვანძის და სინუსური მექანიზმისაგან. სახელურის 2 შემობრუნებისას სინუსური მექანიზმით ხორციელდება დიფრაქციული გისოსის შემობრუნება და ტალღის საჭირო სიგრძის დაყენება ნანომეტრებში.



ნახ.155

საკიუვეტო განყოფილება მოთავსებულია ხელსაწყოს შუა ნაწილში. მის მარჯვნივ (ასაკრებ ველამდე) განლაგებულია ფოტომეტრული მოწყობილობა, რომელშიც შედის გამოსხივების მიმღები — ფოტოდიოდი (ФД-288Б ტიპის) და მუდმივი დენის მაძლიერებელი. კიუვეტების შეტანა სინათლის კონაში წარმოებს სახელურის 4 საშუალებით. ფოტომეტრს თან ახლავს სწორკუთხა კიუვეტების ანაწყობი №4 (ნახ.156). მასში შემავალი კიუვეტების სიგრძე და მოცულობა ნაჩვენებია ცხრილში 16.



ნახ.156

ცხრილი 16

კიუვეტის მუშა სიგრძე, მმ	30	20	10
მოცულობა, მლ	14	9	5

ამ ანაწყობში შედის ყოველი ზომის სამ-სამი კიუვეტა.

მიკროპროცესორული სისტემა განლაგებულია ხელსაწყოს მარჯვენა ნაწილში. მისი კლავიატურა და ციფრული ტაბლო გამოტანილია ფოტომეტრის წინა პანელზე. მიკროპროცესორული სისტემის საშუალებით სრულდება შვიდი ოპერაცია:

<<НУЛЬ>>—გაუნათებელი ფოტომიმღების შემთხვევაში სიგნალის გაზომვა და აღრიცხვა;

<<Г>>—ფოტომეტრის გრადუირება;

<<Е>>—ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა [1] ;

<<П>>—გატარების კოეფიციენტის გაზომვა;

<<С>>—კონცენტრაციის გაზომვა;

<<А>>—ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის გაზომვა;

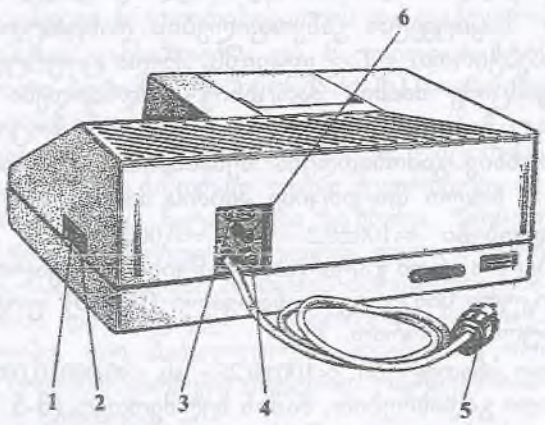
<<F>>—ფაქტორიზაციის კოეფიციენტის შეტანა.

კვების ბლოკში განლაგებულია ძაბვის სტაბილიზატორების ნაბეჭდი ფირფიტები და ძალური ტრანსფორმატორი. კვების ბლოკის გვერდით კედელზე (ფოტომეტრის მარჯვენა გვერდით კედელზე) მოთავსებულია ქსელის ამომრთველი (ტუმბლერი <<СЕТЬ>>). კვების ბლოკის უკანა კედელზე (ნახ.157) გვაქვს ელექტრული ზონარი ჩანგლით 5 ხელსაწყოს ქსელში ჩართვისათვის, დამიწების მომჭერი 6, დამცველი 4, როზეტი 3 გამდინარე კიუვეტის ბლოკის მისაერთებლად.

ხელსაწყოს მომზადება. ფოტომეტრი ჩავრთოთ 220 ვ ძაბვის ქსელში, ჩავრთოთ ქსელის ტუმბლერი <<СЕТЬ>>. დავაჭიროთ კლავიშს <<ПУСК>> — ციფრულ ტაბლოზე გამოჩნდება სიმბოლო <<Г>>, მისი შესაბამისი მნიშვნელობა და ტალღის სიგრძის მნიშვნელობა.

[1] ოპტიკური სიმკვრივის აღნიშვნა Е და გატარების აღნიშვნა П პირობითია და გაპირობებულია ფოტომეტრის ინდიკატორზე ასოითი აღნიშვნის შესაძლებლობით.

30 წუთის განმავლობაში ხელსაწყოს გახურების შემდეგ საკიუვეტო განყოფილების გახსნილი სახურავით უნდა ავიღოთ ნულოვანი ანათვალი (მაძლიერებლის ნულის წანაცვლება). ნულოვანი n_0 ანათვალის გაზომვისათვის უნდა დავაჭიროთ კლავიშს <<НУЛЬ>>. ციფრულ ტაბლოზე



ნახ.157. КФК-3 ფოტომეტრის უკანა ხედი:

1-ნულზე დაყენების რეზისტორი <<УСТ.0>> ; 2-ქსელის ამომრთველი <<СЕТЬ>>; 3-როზეტი გამდინარე კიუვეტის ბლოკის მისაერთებლად; 4-დამცველი; 5-ელექტრული ზონარი ჩანგლით; 6-დამიწების მომჭერი

მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ გამონათდება n_0 მნიშვნელობა, მძიმის მარცხნივ — სიმბოლო <<0>>. n_0 მნიშვნელობა უნდა იყოს 0,005-ზე მეტი და 0,200-ზე ნაკლები. თუ n_0 ანათვალი არ მოთავსდება აღნიშნულ საზღვრებში, <<УСТ.0>> რეზისტორით უნდა მივაღწიოთ საჭირო ჩვენებას. ნულის დასაყენებლად უნდა დავაჭიროთ კლავიშზე <<НУЛЬ>>.

გატარების კოეფიციენტის ან ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა ხდება შემდეგი მიმდევრობით:

- საკიუვეტო განყოფილებაში ჩავაყენოთ შორეულ ბუდეში კიუვეტები გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით და ახლო ბუდეში კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით;

• სახელსური 4 დავაყენოთ კიდურა მარცხენა მდგომარეობაში. ამ დროს სინათლის კონაში მოთავსებულია კიუვეტა გამხსნელით;

• სახელსურით 2 დავაყენოთ ტალღის სიგრძე, რომელზეც ჩატარდება გაზომვები. ტალღის სიგრძის შესაბამისი მნიშვნელობა გამონათდება ზედა ციფრულ ტაბლოზე;

• საკიუვეტო განყოფილების დახურული სახურავისას დავაჭიროთ <<Г>> კლავიშს. ქვედა ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გამონათდება სიმბოლო <<Г>>. დავაჭიროთ კლავიშს <<П>> ან <<Е>>. მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გამონათდება შესაბამისად სიმბოლო <<П>> ან <<Е>>, ხოლო მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ შესაბამისად მნიშვნელობები <<100±0,2>> ან <<0,000±0,002>>, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ გატარების საწყისი ანათვალი (100,0%) ან ოპტიკური სიმკვრივის ანათვალი (0,000) ფოტომეტრზე დაყენებულია სწორად.

თუ ანათვლები <<100±0,2>> ან <<0,000±0,002>> დაყენდება დიდი გადახრებით, მაშინ ხელმეორედ (3-5 წამის შემდეგ) დავაჭიროთ კლავიშებს <<Г>>, <<П>> ან <<Е>>. გავხსნათ საკიუვეტო განყოფილების სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<НУЛЬ>>, დავახუროთ სახურავი, დავაჭიროთ კლავიშს <<П>> ან <<Е>>;

• სახელსური 4 გადავწიოთ მარჯვენა კიდურა მდგომარეობაში, რითაც სინათლის კონაში შევიტანთ კიუვეტას გამოსაკვლევი ხსნარით. ანათვალი ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ შეესაბამება გამოსაკვლევი ხსნარის გატარების კოეფიციენტს ან ოპტიკურ სიმკვრივეს.

• ზემოთ მოყვანილი ოპერაციები გავიმეოროთ სამჯერ, გამოვიანგარიშოთ გასაზომი სიდიდის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

• გაზომვის ნიმუშის გატარების კოეფიციენტის ან ოპტიკური სიმკვრივის სპექტრული მრუდის ასაგებად ჩავატაროთ გაზომვები ტალღების სხვადასხვა სიგრძისათვის. აბსცისთა ღერძზე გადავდოთ ტალღის სიგრძეები ნანომეტრებში, ხოლო ორდინატთა ღერძის გასწვრივ — გატარების კოეფიციენტის ან ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობები.

ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის გაზომვისათვის წინასწარ უნდა ჩავატაროთ მოსამზადებელი ოპერაციები შემდეგი მიმდევრობით: ა) ტალღის სიგრძის შერჩევა; ბ) კიუვეტის შერჩევა; გ) საგრადუირებელი გრაფიკის აგება მოცემული ნივთიერებისათვის და ფაქტორიზაციის F კოეფიციენტის განსაზღვრა; დ) F კოეფიციენტის შეტანა გამოთვლითი ბლოკის მეხსიერებაში; ე) ნივთიერების კონცენტრაციის გაზომვა.

კონცენტრაციის განსაზღვრაში უმცირესი ცდომილების მისაღწევად სწორად უნდა შევირჩიოთ იმ ტალღის სიგრძე, რომელზეც ჩატარდება გაზომვა. ამისათვის ხსნარის სპექტრული მრუდის მიხედვით უნდა შევირჩიოთ ისეთი უბანი, სადაც მრუდი თითქმის პარალელურია აბსცისათა ღერძისა და ოპტიკურ სიმკვრივეს აქვს მაქსიმალური მნიშვნელობა. თუ პარალელური უბანი არ არის, მაშინ ტალღის სიგრძეს ვირჩევთ მხოლოდ ოპტიკური სიმკვრივის მაქსიმუმის მიხედვით.

კიუვეტა უნდა შევირჩიოთ ისე, რომ ოპტიკური სიმკვრივე იყოს 0,3-დან 0,6-მდე ფარგლებში.

საგრადუირებელი გრაფიკის ასაგებად მოვამზადოთ ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების მწკრივი, გავზომოთ ამ ხსნარების ოპტიკური სიმკრივეები და ავაგოთ გრაფიკი. უნდა დავრწმუნდეთ, რომ კონცენტრაციის და ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება წრფივია.

გრაფიკის მიხედვით გამოვიანგარიშოთ ფაქტორიზაციის F კოეფიციენტი. ამისათვის საგრადუირებელი გრაფიკის შუა ნაწილისათვის ავიღოთ კონცენტრაციის რაიმე მნიშვნელობა და მისი შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივე D. მაშინ

$$F=\frac{C}{D}.$$

თუ საგრადუირებელი გრაფიკის აგებისას დავრწმუნდებით, რომ დამოკიდებულება არაწრფივია, მაშინ ფაქტორიზაციის F კოეფიციენტის განსაზღვრა საჭირო არაა. ასეთ შემთხვევაში კონცენტრაციის განსაზღვრა უნდა ჩავატაროთ უშუალოდ საგრადუირებელი გრაფიკის მიხედვით.

ფაქტორიზაციის F კოეფიციენტის შეტანა გამოთვლითი ბლოკის მეხსიერებაში ხდება შემდეგნაირად. დავაჭიროთ კლავიშს <<F>>, ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გამონათდება სიმბოლო <<F>>. კლავიატურის საშუალებით აკრეფილი F კოეფიციენტის მნიშვნელობა. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ გამონათდება კოეფიციენტის აკრეფილი მნიშვნელობა. ფოტომეტრი მზადაა კონცენტრაციის გასაზომად.

ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის გასაზომად საჭიროა:

- საკიუვეტო განყოფილებაში ჩავაყენოთ კიუვეტები (იმავე ზომის, რომლებსაც ვიყენებდით საგრადუირებელი გრაფიკის აგების დროს) გამხსნელით ან საკონტროლო ხსნარით და გამოსაკვლევი ხსნარით. სახელურით 4 სინათლის კონაში შევიტანოთ კიუვეტა გამხსნელით (სახელურით 4 მარცხენა კიდურა მდგომარეობაში);
- სახელურით 2 (ნახ.154) დავაყენოთ ტალღის შერჩეული სიგრძე (მისი მნიშვნელობა გამონათდება ზედა ციფრულ ტაბლოზე);
- კლავიშებზე <<Г>>, <<П>> ან <<Е>> დაჭერისას დავრწმუნდეთ, რომ ფოტომეტრი დაყენებულია სწორად (ჩვენებები უნდა იყოს <<100±0,2>> ან <<0,000±0,002>> შესაბამისად);
- დავაჭიროთ კლავიშს <<С>>. ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარცხნივ გაჩნდება სიმბოლო <<С>>. ანათვალი ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ შეესაბამება გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის მნიშვნელობას.

ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის განსაზღვრა. ხსნარში მიმდინარე რეაქციის მდგომარეობის განსაზღვრისათვის აუცილებელი ხდება ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის განსაზღვრა დროის რაიმე t მონაკვეთის განმავლობაში. ამისათვის:

- უნდა ჩავატაროთ გატარების კოეფიციენტის ან ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვისას აღნიშნული პირველი ოთხი ოპერაცია;

- შემდეგ უნდა დავაჭიროთ კლავიშს <<А>>. ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ გამონათდება სიმბოლო <<А>>;
- შევიტანოთ მეხსიერებაში დრო t, რომლის განმავლობაშიც უნდა განისაზღვროს ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარე A (დროის შეტანა ხდება წუთებში და შეუძლია მიიღოს მთელი რიცხვების მნიშვნელობები 1-დან 9-მდე);
- t დროის შემდეგ ციფრულ ტაბლოზე მოციმციმე მძიმის მარჯვნივ გამონათდება ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის მნიშვნელობა;
- თუ გვჭირდება იმავე ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის განსაზღვრა t დროის შემდგომ ისეთივე შუალედში, კვლავ უნდა დავაჭიროთ კლავიშს <<А>>.

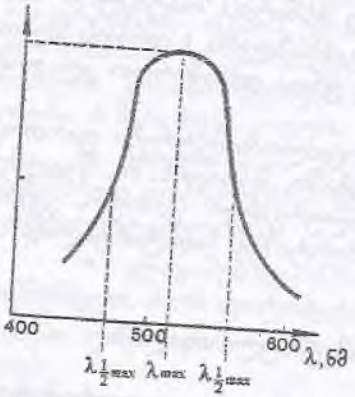
ზემოთ აღწერილი ფოტოკოლორიმეტრები ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში, მედიცინაში, წყალმომარაგების საწარმოებში, მეტალურგიულ, ქიმიურ, კვების მრეწველობაში და სხვაგან ექსპერტიზის ჩასატარებლად.

2.2.2.3. სპექტროფოტომეტრული ანალიზი

სპექტროფოტომეტრული ანალიზი კოლორიმეტრულისა და ფოტოკოლორიმეტრულის მსგავსად დაფუძნებულია ბუგერ-ლამბერტ-ბერის შუქშთანთქმის კანონზე, მაგრამ ძირითადად აერთიანებს ხსნარების მიერ მონოქრომატული გამოსხივების შთანთქმის გაზომვაზე დაფუძნებულ მეთოდებს. სპექტროფოტომეტრიაში გამოიყენება მონოქრომატული გამოსხივება სპექტრის როგორც ხილულ, ისე მის მომიჯნავე ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ უბნებში. მონოქრომატული გამოსხივების გამოყენების გამო სპექტროფოტომეტრიას გააჩნია მეტი შესაძლებლობები ტალღის სიგრძეთა ფართო დიაპაზონის გამო. შუქგამტარობის გაზომვა სპექტრის ვიწრო უბანში საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ უფრო მკაცრი პროპორციულობა განსასაზ-

ღვრავი კომპონენტის კონცენტრაციასა და ხელსაწყოს — სპექტროფოტომეტრის ჩვენებებს შორის. მაშასადამე, განსაზღვრის სიზუსტე აქ მატულობს.

შუქშთანთქმის დამოკიდებულება გამოსხივების ტალღის სიგრძეზე გამოისახება მოცემული ნივთიერებით სინათლის შთანთქმის მრუდით (სპექტრით). აბსცისათა ღერძზე გადავდოთ ტალღის სიგრძის სიდიდე, ორდინატთა ღერძზე — ოპტიკური სიმკვრივე D ან შთანთქმის მოლური კოეფიციენტები. შთანთქმის სპექტრი ხასიათდება გარკვეული ზოლებით, ხოლო შთანთქმისათვის ისინი წარმოადგენენ მოცემული ნივთიერების ინდივიდუალურ მახასიათებელს (ნახ.158).



ნახ.158. შთანთქმის მაქსიმუმის წარეცხილობის გრაფიკი

ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა უნდა ჩავატაროთ ტალღის მაქსიმალური λ_{max} სიგრძის დროს, რომელიც შეესაბამება გამოსაკვლევი ხსნარით სინათლის მაქსიმალურ შთანთქმას. ამ დროს ვაღწევთ განსაზღვრის ყველაზე მაღალ სიზუსტეს.

ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილება კონცენტრაციის შეცვლასთან ერთად მით მეტია, რაც უფრო მაღალია ხსნარის შთანთქმის კოეფიციენტის მნიშვნელობა. ვინაიდან მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა გვაქვს λ_{max} დროს, ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა უნდა ჩავატაროთ ტალღის ზუსტად ამ სიგრძის შემთხვევაში.

სპექტროფოტომეტრიის მეთოდით რაოდენობითი ანალიზის ჩატარებისას საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაცია უნდა შევირჩიოთ ისე, რომ ოპტიკური სიმკრივის სიდიდე იმყოფებოდეს 0,2-0,8 ფარგლებში, ვინაიდან D<0,2 და D>0,8 შემთხვევებში მკვეთრად იზრდება განსაზღვრის შეცდომა.

სპექტროფოტომეტრული მეთოდის ზღვრული მგრძნობიარობა შეადგენს 10^{-8} მოლი/ლ, მაგრამ პრაქტიკაში ამ მეთოდის ქვედა ზღვარის სახით მიღებულია 10^{-6}-10^{-7} მოლი/ლ.

ლაბორატორიებში ამჟამად ფართოდ გამოიყენება ცალმხარა არამარეგისტრირებელი სპექტროფოტომეტრები СФ-4, СФ-4А, СФД-2, СФ-5, СФ-16, СФ-26, СФ-46 ტიპისა, აგრეთვე მარეგისტრირებელი სპექტროფოტომეტრები СФ-2М, СФ-8, СФ-9, СФ-10 და СФ-14.

СФ-4, СФ-4А, СФ-5 და СФ-16 სპექტროფოტომეტრებს აქვთ ერთნაირი პრინციპული ოპტიკური სქემა. მათ მონოქრომატორს აქვს მადისპერგირებელი პრიზმა, რომელიც შლის უწყვეტ (მთლიან) გამოსხივებას სპექტრად და გამოსავალ ჭვრიტეში გადის განსაზღვრული მონოქრომატულობის გამოსხივება.

СФ-4, СФ-4А და СФ-16 სპექტროფოტომეტრების კვარცული ოპტიკა საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ გამჭვირვალე თხევადი (და ძყარი) ნივთიერებების გამტარობის კოეფიციენტი ტალღების სიგრძის ფართო დიაპაზონში. ამ სპექტროფოტომეტრებს იყენებენ შთანთქმის სპექტრების გადასაღებად 220 -1100 ნმ-ის არეში, ე.ი. სპექტრის უახლოეს ინფრაწითელ (760-1100 ნმ), ხილულ (400-760 ნმ) და ულტრაიისფერ უბნებში.

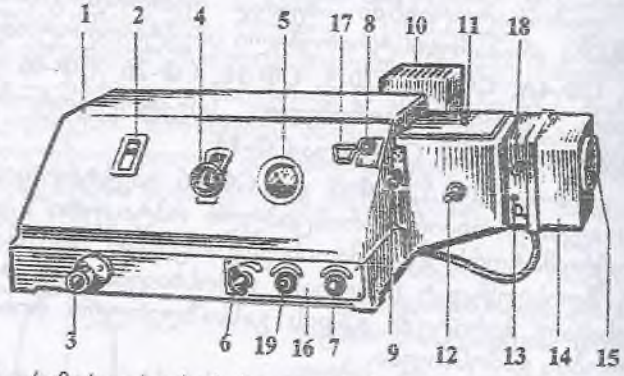
ფოტოელემენტისა და სპეციალური მაძლიერებლის საშუალებით თანმიმდევრულად ადარებენ წყალში (ან შედარების ხსნარში) და საანალიზო ხსნარში გასული სინათლის ნაკადებს.

გამოსხივების წყაროებს ამ სპექტროფოტომეტრებში წარმოადგენს წყალბადის ნათურა (200-350 ნმ არეში) და ვოლფრამის ნათურა (ხილულ და ინფრაწითელ არეში). გამოიყენება სტიბიუმ-ცეზიუმის და ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტები. СФ-16 სპექტროფოტომეტრს აქვს გაზომვის რამდენიმე ინტერვალი:186-200 ნმ, 200-350 ნმ და 320-1100 ნმ, აგრეთვე გამტარობის სამი ინტერვალი: 100-0%; 10-0% და 100-90%.

СФ-5 სპექტროფოტომეტრს აქვს მინის ოპტიკა, რის გამოც მისი გარჩევის უნარი შეზღუდულია სპექტრის მხო-

ლოდ ხილული და ინფრაწითელთან ახლო არეებით (380-1100 ნმ).

СФ-4, СФ-4А და СФ-5 სპექტროფოტომეტრების საერთო ხედი ნაჩვენებია 159-ე ნახაზზე.



ნახ.159. არამარეგისტრირებელი სპექტროფოტომეტრი СФ-4: 1-კორპუსი; 2-სკალა; 3-მქნევარა; 4-სახელურა; 5-ინდიკატორული მილიამპერმეტრი; 6-გადამრთველი; 7-მგრძნობიარობის რეგულატორი; 8-ჭვრიტეს რეგულატორი; 9-საცვლელი ფილტრების ბლოკი; 10-გამანათებელი; 1-გახყოფილება კიუვეტებისათვის; 12-სახელური კიუვეტების შეცვლისათვის; 13-ფოტოელემენტების გადამრთველი; 14-კამერა ფოტოელემენტებისათვის; 15-ვაზნა; 16-პანელი; 17-სკალა; 18-ფოტოელემენტის შტორის სახელური; 19-სიბნელის დენის პოტენციომეტრის სახელური

СФД-2 სპექტროფოტომეტრში გამოსხივების მონოქრომატიზაციას აღწევენ დიფრაქციული გისოსის საშუალებით. ეს ხელსაწყო უზრუნველყოფს გაზომვებს 220-1000 ნმ-ის დიაპაზონში.

СФ-26 სპექტროფოტომეტრს გააჩნია კვარცის ოპტიკა და ორი ფოტოელემენტი: სტიბიუმ-ცეზიუმის სპექტრის 186-დან 650 ნმ-მდე არეში გაზომვისათვის და ჟანგბადცეზიუმის 600-დან 1100 ნმ-მდე დიაპაზონში გაზომვისათვის. СФ-26 სპექტროფოტომეტრის სკალა საშუალებას გვაძლევს ავითვალოთ როგორც საანალიზო ნიმუშის გამტაროობა პროცენტებში, ისე ოპტიკური სიმკვრივე.

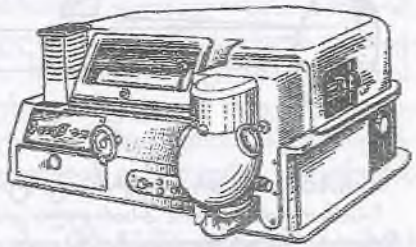
СФ-2М, СФ-8, СФ-9, СФ-10 და СФ-14 სპექტროფოტომეტრები მარეგისტრირებელი ხელსაწყოებია, რომლებიც შეიცავენ გამანათებელს, ორმაგ პრიზმულ მონოქრომატორს, ფოტომეტრს, ძიძღებ-ძაძლიერებელ ნაწილს და ჩამწერ მექანიზმს.

СФ-2М სპექტროფოტომეტრი განკუთვნილია გატარების კოეფიციენტისა და ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვისათვის სპექტრის ხილულ არეში (400-760 ნმ); ამ გაზომვების შედეგები ავტომატურად ჩაიწერება სპექტრული მრუდის სახით სპეციალურ ბლანკზე.

СФ-8 სპექტროფოტომეტრი უზრუნველყოფს გატარების სპექტრების რეგისტრაციას ფართო დიაპაზონში 210-დან 2500 ნმ-მდე სპეციალურ ბლანკებზე.

СФ-9 სპექტროფოტომეტრი ავტომატურად იწერს მყარი და თხევადი ნივთიერებების გატარების (ოპტიკური სიმკვრივის) სპექტრებს ოთახის ტემპერატურის პირობებში, აგრეთვე მყარი ნივთიერებების სპექტრებს თხევადი ჰელიუმის ტემპერატურაზე ბუნებრივ და პოლარიზებულ შუქში.

СФ-10 სპექტროფოტომეტრი ზომავს და ავტომატურად იწერს შეფერილი ან მლვრიე ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეს (გატარებას ან არეკვლას პროცენტებში) 400-დან 750 ნმ-მდე დიაპაზონში, ე.ი. სპექტრის ხილულ არეში (ნახ.160). ამ სპექტროფოტომეტრში მონოქრომატიზაციის ხარისხი მაღალია ორმაგი მონოქრომატორის არსებობის გამო. გამანათებლის სახით გამოიყენება კინოსაპროექციო ნათურა К30.



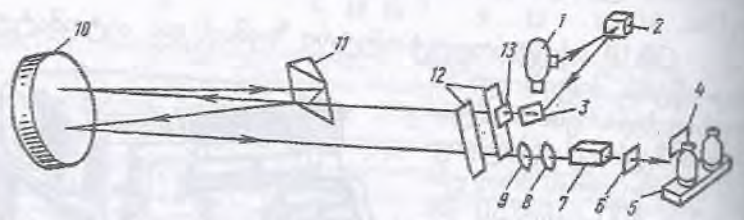
ნახ.160. СФ-10 სპექტროფოტომეტრის საერთო ხედი

СФ-14 სპექტროფოტომეტრს გააჩნია ორი დიაპაზონი გატარების გაზომვისავის (0-დან 100%-მდე და 0-დან 10%-მდე) და აგრეთვე ორი დიაპაზონი ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვისათვის (0-დან 2,5-მდე და 0-დან 1,0-მდე). ეს საშუალებას გვაძლევს ავამაღლოთ მგრძნობიარობა და გაზომვის სიზუსტე. ერთი სპექტრის ჩაწერის დრო მერყე-

ობს 2-დან 4,5 წთ-მდე. კონსტრუქციულად СФ-14 თითქმის იდენტურია СФ-10 - ის, მაგრამ აქვს უფრო სრულყოფილი კონსტრუქცია.

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე იაპონური ფირმა Hitachi-ს მარეგისტრირებელი სპექტროფოტომეტრები (მაგალითად 124 და სხვ. ტიპისა). ეს ხელსაწყო მუშაობს 190-800 ნმ დიაპაზონში. მადისპერგირებელ ელემენტს წარმოადგენს დიფრაქციული გისოსი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ვიმუშაოთ სამ სხვადასხვა სპექტრულ ინტერვალში (0,5; 1,0 და 2,0 ნმ).

СФ-4, СФ-4А, СФ-5, СФ-16 და СФ-26 არამარეგისტრირებელ სპექტროფოტომეტრებს აქვთ მსგავსი ოპტიკური სქემა. 161-ე ნახაზზე მოცემულია ფართოდ გავრცელებული СФ-4А სპექტროფოტომეტრის ოპტიკური სქემა.



ნახ.161. СФ-4А სპექტროფოტომეტრის ოპტიკური სქემა:
1-სინათლის წყარო; 2-სარკული კონდენსორი; 3-ბრტყელი სარკე; 4-შტორი; 5-ფოტოელემენტი; 6-კვარცის დამცველი ფირფიტა; 7-კიუვეტა; 8-შუქფილტრები;9-კვარცის ლინზა;10- სფერული სარკე; 11-კვარცის მადისპერგირებელი პრიზმა; 12- შესავალი (და გამოსავალი) ჭვრიტე; 13-კვარცის დამცველი ფირფიტა

ვარვარების წყალბადის ნათურიდან1 გამოსხივება კონდენსორის 2 გავლით ხვდება ჯერ ბრტყელ სარკეს 3, ხოლო შემდეგ შესავალ ჭვრიტეს 12. შესავალი ჭვრიტე დაცულია კვარცის ფირფიტით 13. შემდეგ სფერული სარკე-ობიექტივი 10 მიმართავს გამოსხივებას კვარცის მადისპერგირებელ პრიზმაზე 11, რომელიც შლის გამოსხივებას სპექტრად. გამოსხივების მიღებული მონოქრომატიზებული კონა აირეკლება პრიზმის სარკული (მოვერცხლილი) წახნაგიდან და კვლავ ეცემა სფერულ სარკეს 10. ეს უკანასკნელი აფოკუსირებს კონას გამოსავალ ჭვრიტეზე 12 (იგი მოთავსებულია შესავალი ჭვრიტეს ქვევით). აქის შემდეგ მონოქრომატული გამოსხივება ლინზის 9 გავლით მიეწოდება კიუვეტას 7 და თუ შტორი 4 გახსნილია, აღწევს სტიბიუმ-ცეზიუმის ან ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტის 5 შუქმგრძნობიარე ფენას. 320-380 და 590-700 ნმ-ის არეში მუშაობისას გაბნეული სინათლის შთანთქმისათვის გამოიყენება მინის შუქფილტრები 8.

ფოტოელემენტის კათოდზე მოხვედრისას მონოქრომატული გამოსხივება აღძრავს ფოტოდენს, რომელსაც აძლიერებენ და ზომავენ მაძლიერებლის გამოსავალზე კომპენსაციური მეთოდით. თუ გვეცოდინება დამოკიდებულება საკომპენსირებელ ძაბვასა და ფოტოდენს შორის, შევძლებთ ამთვლელი პოტენციომეტრის სკალის გრადუირებას ოპტიკური სიმკვრივის ან გატარების ერთეულებში.

ვინაიდან არამარეგისტრირებელ სპექტროფოტომეტრებში განისაზღვრება გამოსხივების ინტენსიურობის ფარდობითი ცვლილება, ხელსაწყო ზომავს ფოტოდენის არა აბსოლუტურ სიდიდეს, არამედ მხოლოდ მის შემცირებას გამხსნელიდან საანალიზო ხსნარზე გადასვლისას. ამიტომ, როდესაც გამხსნელის შემცველი კიუვეტის ნაცვლად ათავსებენ კიუვეტას საანალიზო ხსნარით, მილიამპერმეტრის ისარი გადაიხრება. მას აბრუნებენ ნულოვან მდგომარეობაში ამთვლელი პოტენციომეტრის სახელურის შემობრუნებით და სკალის მიხედვით აითვლიან ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობას.

გაზომვა СФ-4, СФ-2А და СФ-5 სპექტროფოტომეტრებზე მარტივია. გამანათებლისა და მაძლიერებლის ელექტრულ ქსელში ჩართვის შემდეგ სრულდება შემდეგი ოპერაციები:

- კიუვეტებს ნულოვანი და გამოსაკვლევი ხსნარებით ვაყენებთ კიუვეტების საჭერში და ვათავსებთ საკიუვეტო განყოფილებაში 11 (ნახ.159) ისეთნაირად, რომ გამოსხივების ნაკადი გადიოდეს ნულოვან ხსნარში;
- სახელურის 3 შემობრუნებით სკალა 2 უნდა დავაყენოთ ტალღის საჭირო სიგრძეზე;

- სახელურით 13 მუშა მდგომარეობაში უნდა მოვიყვანოთ სტიბიუმ-ცეზიუმის ან ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტი;
- შუქფილტრების ბლოკის სახელური 9 უნდა დავაყენოთ შესაბამისი შუქფილტრის (ან ჰაერის) მაჩვენებელზე;
- ძირითადი გადამრთველი 6 უნდა გადავიყვანოთ ჩართულ მდგომარეობაში <<ВКЛЮЧЕНО>>. შტორის 18 გახსნის გარეშე სიბნელის დენის პოტენციომეტრის სახელურით 19 ინდიკატორული მილიამპერმეტრის 5 ისარი უნდა დავაყენოთ ნულზე;
- შემდეგ უნდა გავხსნათ შტორი 18 და ჭვრიტეს სიგანის შეცვლით სახელურით 8 (ან მგრძნობიაროობის პოტენციომეტრით 7) მილიამპერმეტრის ისარი კვლავ უნდა დავაბრუნოთ ნულოვან მდგომარეობაში;
- კიუვეტების საჭერის გადაადგილებით სახელურით 12 გამოსხივების ნაკადის გზაზე უნდა დავაყენოთ კიუვეტა საანალიზო ხსნარით;
- ძირითადი გადამრთველი 6 უნდა დავაყენოთ მდგომარეობაში <<1>> და ამთვლელი პოტენციომეტრის სახელურის 4 შემობრუნებით უნდა აღვადგინოთ მილიამპერმეტრის ისრის ნულოვანი მდგომარეობა. ამ პოტენციომეტრის ქვედა სკალის მიხედვით ავითვალოთ გატარების პროცენტი ან ზედა სკალის მიხედვით ოპტიკური სიმკვრივე.
- გაზომვას იმეორებენ 3-5-ჯერ და იღებენ მიღებული ანათვლების საშუალო არითმეტიკულს.

განვიხილოთ СФ-46 ტიპის სპექტროფოტომეტრი, რომელიც განკუთვნილია თხევადი და მყარი გამჭვირვალე ნივთიერების გამტარობის კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის სპექტრის უბანში 190-დან 1100 ნმ-მდე. მადისპერგირებელი ელემენტი ჩაღუნული დიფრაქციული გისოსია ცვლადი ბიჯითა და მრუდწირული შტრიხით. (შტრიხების რაოდენობა 1 მმ-ზე —600).

გატარების სპექტრული კოეფიციენტების გაზომვის დიაპაზონია 1-დან 100-მდე, სპექტროფოტომეტრის დასაშვები აბსოლუტური ცდომილების ზღვრები გამტარობის კოეფიციენტის გაზომვისას შეადგენს

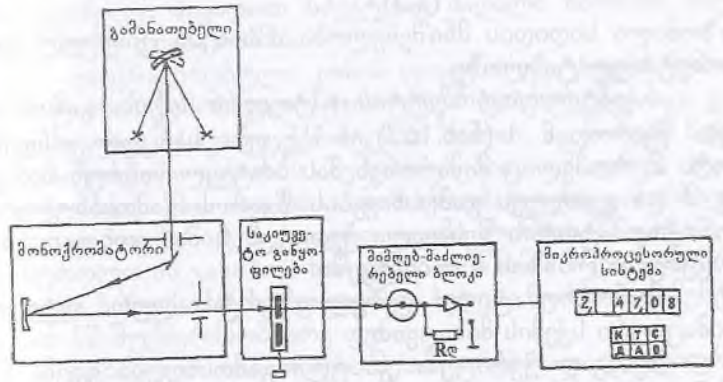
სპექტრულ დიაპაზონში 400-დან 750 ნმ-მდე ±5%,

დანარჩენ სპექტრულ დიაპაზონში ±1%.

სპექტროფოტომეტრის ცდომილების შემთხვევითი შემდგენის საშუალო კვადრატული გადახრის დასაშვები ზღვარია 0,1%; ტალღების სიგრძის დაყენების ამთვლელი მოწყობილობის დასაშვები აბსოლუტური ცდომილების ზღვრებია ±0,5 ნმ; ტალღების სიგრძის დაყენების ამთვლელი მოწყობილობის ცდომილების შემთხვევითი შემდგენის საშუალო კვადრატული გადახრის დასაშვები ზღვარია ±0,25 ნმ.

სპექტროფოტომეტრის კვება ხდება ქსელიდან (220±22) ვ ძაბვით. მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენს 170 ვ·ა.

მოქმედების პრინციპი. სპექტროფოტომეტრის სტრუქტურული სქემა მოცემულია 162-ე ნახაზზე.



ნახ.162

სინათლის კონა გამანათებლიდან ხვდება მონოქრომატორში შესავალი ჭვრიტეს საშუალებით და აქ დიფრაქციული გისოსით იშლება სპექტრად. მონოქრომატორის

გამოსავალი ჭვრიტედან გამოსხივების მონოქრომატული გამოსხივება გადის საკუთვეტო განყოფილებაში, სადაც ხდება საკონტროლო და გამოსაკვლევი ნიმუშების შეტანა რიგ-რიგობით. ნიმუშში გასული გამოსხივება ხვდება მიმღებ-მაძლიერებელი ბლოკის ფოტოელემენტის კათოდს. ფოტოელემენტის ანოდურ წრედში ჩართულ $R_დ$ რეზისტორში გამავალი ელექტრული დენი ამ რეზისტორზე ქმნის ფოტოკათოდზე დაცემული გამოსხივების პროპორციულ ძაბვას.

ერთთან ახლო გაძლიერების კოეფიციენტების მქონე მუდვიმი დენის მაძლიერებელი უზრუნველყოფს სიგნალების გადაცემას მიკროპროცესორული სისტემის შესავალზე. ეს სისტემა ოპერატორის ბრძანებით რიგ-რიგობით ზომავს და იმახსოვრებს ფოტოელემენტის სიბნელის დენის პროპორციულ $U_ს$, საკონტროლო ნიმუშში გასული ნაკადის პროპორციული U_0 და გამოსაკვლევ ნიმუშში გასული ნაკადის პროპორციულ U ძაბვებს. გაზომვის შემდეგ მიკროპროცესორული სისტემა ითვლის გამოსაკვლევი ნიმუშის გატარების კოეფიციენტს ფორმულით

$$\tau = \frac{U-U_ს}{U_0-U_ს} \cdot 100 .$$

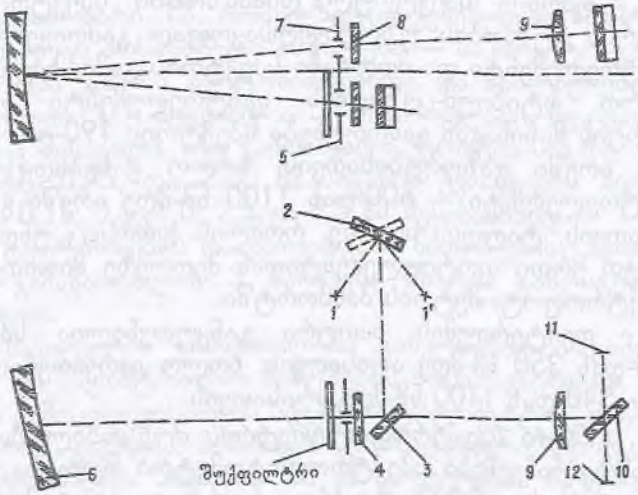
გაზომილი სიდიდის მნიშვნელობა აისახება ციფრულ ფოტომეტრულ ტაბლოზე.

სპექტროფოტომეტრის ოპტიკური სქემა. გამოსხივება წყაროდან 1 (ნახ.163) ან 1' ეცემა სარკულ კონდენსორს 2, რომელიც მიმართავს მას ბრტყელ საბრუნ სარკეზე 3 და გვაძლევს გამოსხივების წყაროს გამოსახულებას მონოქრომატორის შესავალი ჭვრიტეს 5 მახლობლად განლაგებული ლინზის 4 სიბრტყეში.

მონოქრომატორი აგებულია ვერტიკალური ავტოკოლიმაციური სქემის მიხედვით.

შესავალ ჭვრიტეში გასული გამოსხივება ეცემა ჩაღუნულ დიფრაქციულ გისოსს 6. ამ უკანასკნელს აქვს ცვლადი ბიჯი და მრუდწირული შტრიხი. გისოსი დამზადებულია სფერულ ზედაპირზე, ამიტომ მადისპერგირებელი თვისებების გარდა მას სპექტრის ფოკუსირების თვისებაც გააჩნია. ცვლადი ბიჯისა და მრუდწირული შტრიხის

გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს ჩაზნექილი დიფრაქციული გისოსის აბერაციულ დამახინჯებებს და საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ სპექტრის მაღალი ხარისხი მთელ სპექტრულ დიაპაზონში.



ნახ.163

დიფრაგირებული კონის ფოკუსირება ხდება მონოქრომატორის გამოსავალი ჭვრიტეს 7 სიბრტყეში. იგი განლაგებულია შესავალი ჭვრიტეს 5 ზემოთ. სკანირება ხდება დიფრაქციული გისოსის შემობრუნებით. ამ დროს ტალღების სხვადასხვა სიგრძის მონოქრომატული გამოსხივება გამოსავალი ჭვრიტეს გავლით ეცემა ლინზას 8, გადის საკონტროლო ან გასაზომ ნიმუშში, ლინზაში 9 და მოსაბრუნებელი სარკის 10 საშუალებით ხვდება ფოტოელემენტის 11 ან 12 შუქმგრძნობიარე ფენას.

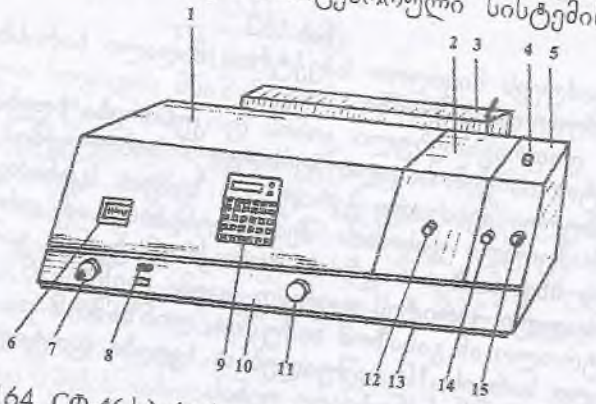
გაბნეული სინათლის შესამცირებლად და დიფრაქციის უმაღლესი რიგების მოკვეთისათვის სპექტროფოტომეტრში გამოყენებულია ორი შუქფილტრი: მინისაგან ПС11 (სპექტრის 230-450 ნმ არეში მუშაობისათვის) და მინისაგან ОС 14 (სპექტრის 600-1100 ნმ არეში მუშაობისათვის). შუქფილტრების შეცვლა ხდება ავტომატურად.

ლინზები დამზადებულია სპექტრის ულტრაიისფერ არეში გატარების მაღალი კოეფიციენტის მქონე კვარცის მინისაგან.

ფართო სპექტრულ დიაპაზონში სპექტროფოტომეტრის მუშაობის უზრუნველსაყოფად გამოიყენება ორი ფოტოელემენტი და მთლიანი სპექტრის გამოსხივების ორი წყარო. სტიბიუმ-ცეზიუმის ფოტოელემენტი ფანჯრით კვარცის მინისაგან გამოიყენება სპექტრის 190-დან 700 ნმ-მდე არეში გაზომვებისათვის, ხოლო ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტი — 600-დან 1100 ნმ-მდე არეში გაზომვებისათვის. ტალღის სიგრძე, რომლის დროსაც უნდა გადავიდეთ ერთი ფოტოელემენტიდან მეორეზე მითითებულია სპექტროფოტომეტრის პასპორტში.

დეიტერიუმის ნათურა განკუთვნილია სპექტრის 190-დან 350 ნმ-მდე არისათვის, ხოლო ვარვარების ნათურა —340-დან 1100 ნმ-მდე არისათვის.

СФ-46 სპექტროფოტომეტრის მოწყობილობა. 164-ე ნახაზზე ნაჩვენები სპექტროფოტომეტრი შედგება მონოქრომატორისაგან 1, მიკროპროცესორული სისტემისაგან 9,



ნახ.164. СФ-46 სპექტროფოტომეტრის საერთო ხედი

საკიუვეტო განყოფილებისაგან 2, კამერისაგან 5 ფოტომიმღებითა და მაძლიერებლით და გამანათებლისაგან 3 გამოსხივების წყაროებითა და სტაბილიზატორით.

მონოქრომატორში შემავალი ოპტიკური და მექანიკური დეტალები, კვების ბლოკი, მიკროპროცესორული

მოწყობილობა, აგრეთვე ტალღათა სიგრძის დაყენების ამთვლელი მოწყობილობა 6 და ჭვრიტეს გადამრთველი 11 დამაგრებულია ძირზე 10. ძირთან ხისტადაა მიერთებული დამატებითი ძირი 13, რომელზეც დაყენებულია სპექტროფოტომეტრის მოსახსნელი ნაწილები — საკიუვეტო განყოფილება და კამერა ფოტომიმღებითა და მაძლიერებლით. სახელურით 11 შეგვიძლია ერთდროულად შევცვალოთ როგორც შესავალი, ისე გამოსავალი ჭვრიტეს სიგანე. 0,05; 0,15; 0,3; 0,75; და 2,00 მმ სიგანის ჭვრიტეებს შეესატყვისება 0,15; 0,5; 1,0; 2,5 და 6,5 ნმ შესაბამისად.

დეიტერიუმის და ვარვარების ნათურების გადართვა ხდება გამანათებლის 3 მარჯვენა მხარეს განლაგებული ბერკეტით.

საკიუვეტო განყოფილება განკუთვნილია გამოსაკვლევი და საკონტროლო ნიმუშების მოსათავსებლად. სითხეების გამოკვლევისათვის სპექტროფოტომეტრის კომპლექტში არის კვარცის მინისაგან დამზადებული სწორკუთხა კიუვეტები მუშა სიგრძით 10 მმ. კიუვეტების საჭერის გადაადგილება ხდება სახელურით 12. გვაქვს ოთხი ფიქსირებული მდგომარეობა: <<1>>, <<2>>, <<3>> და <<4>> ოთხი კიუვეტის შესაბამისად.

ფოტოელემენტების გადართვა კამერაში 5 ხდება სახელურით 4. თუ ის დაყენებულია მდგომარეობაში <<Ф>>, სქემაში ჩართულია სტიბიუმ-ცეზიუმის ფოტოელემენტი, თუ მდგომარეობაში <<К>>—ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტი. კამერის 5 წინა პანელზე მოთავსებულია სახელური 14 შტორის გადართვისათვის. მას გააჩნია ორი მდგომარეობა (გახსნილი — <<ОТКР>> და ჩაკეტილი — <<ЗАКР>>). სახელურით 15 ვაწარმოებთ ფოტოელემენტების სიბნელის დენის კომპენსაციას (ნულის დაყენებას), როდესაც სახელური 14 <<ЗАКР>> მდგომარეობაშია.

დიფრაქციული გისოსის შემობრუნება ხდება სახელურით 7. მისი შემობრუნებით იცვლება ტალღის სიგრძე, რომლის მნიშვნელობაც შეგვიძლია მოვხსნათ ამთვლელი მოწყობილობით 6.

ძირზე დამაგრებულია ინდიკატორული ნათურა 8 და ქსელის ღილაკი <<СЕТЬ>>.

მიკროპროცესორული სისტემის 9 წინა პანელზე განლაგებულია ფოტომეტრული ტაბლო და კლავიატურა გაზომვის პროცესის მართვისათვის. კლავიატურა განკუთვნილია სისტემის მართვისა და მონაცემების ხელით შეტანისათვის.

კლავიშებზე <<Ш(0)>> და <<К(1)>> დაჭერისას განისაზღვრება გამოსავალი ძაბვები გაუნათებელი ფოტოელემენტის შემთხვევაში (<<Ш(0)>>) და საკონტროლო ნიმუშში გასული სინათლის ნაკადის დროს (<<К(1)>>). გამოსავალი ძაბვის მნიშვნელობები ვოლტებში გამონათდება ფოტომეტრულ ტაბლოზე.

კლავიშებზე <<τ(2)>> ან <<D(5)>> დაჭერისას ხდება გატარების კოეფიციენტებისა ან ოპტიკური სიმკრივის გაძოთვლა და მათი გამონათება ფოტოელექტრულ ტაბლოზე შესაბამისად გატარების პროცენტებში და ოპტიკური სიმკვრივის ერთეულებში.

კლავიში <<Ц/Р>> საჭიროა მიკროპროცესორული სისტემის გადაყვანისათვის ერთეულოვანი რეჟიმიდან ციკლურ რეჟიმში და პირიქით, რის შესახებაც მეტყველებს ანთებული ინდიკატორი <<Р>> (ერთეულოვანი) ან <<Ц>> (ციკლური).

ციკლურ რეჟიმში გამოთვლა და გასაზომი სიდიდეების გამონათება ხდება ყოველი 5 წამის შემდეგ კლავიშებზე დამატებითი დაჭერის გარეშე.

კლავიშები <<С(4)>> და <<А(3)>> განკუთვნილია სპექტროფოტომეტრის მუშაობისათვის კონცენტრაციების და ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის რეჟიმში.

კლავიშები <<СБР>>, <<УТВ>>, <<[>> და <<ь>> აუცილებელია ჩამოყრისა და მიკროპროცესორულ სისტემაში კოეფიციენტების მნიშვნელობათა შეტანისათვის <<С>> და <<А>> რეჟიმებში. ამ კოეფიციენტების შეტანა მიკროპროცესორული სისტემის მეხსიერებაში ხდება კლავიშებით <<0>> - <<9>>.

კლავიშის დაჭერისას ფოტომეტრული ტაბლოს მარცხენა ნაწილში გამონათდება მიკროპროცესორული სისტემის მუშაობის რეჟიმის შესაბამისი სიმბოლო.

გაზომვების და ყოველგვარი ძებოწმების ჩატარებისას კლავიშებზე ხელმეორედ ხელის დაჭერა დასაშვებია მხოლოდ 2 წამის შემდეგ.

СФ-46 სპექტროფოტომეტრის მომზადება მუშაობისათვის წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით:

- დავხუროთ ფოტოელემენტი შტორის გადამთველი სახელურის 14 <<ЗАКР>> მდგომარეობაში გადაყვანით და გადამთველით 11 დავაყენოთ ჭვრიტეს სიგანე 0,15 მმ;
- დავაჭიროთ ქსელის ღილაკს <<СЕТЬ>> (უნდა აინთოს ინდიკატორული ნათურა <<СЕТЬ>>) და კლავიშს <<ПУСК>> მიკროპროცესორული სისტემის კლავიატურაზე (ტაბლოზე უნდა გამონათდეს მძიმე);
- თუ გამანათებლის ბლოკის 3 ბერკეტი <<Н>> მდგომარეობაშია, მაშინ ღილაკზე <<СЕТЬ>> დაჭერისთანავე აინთება ვარვარების ნათურა; თუ სახელური <<Д>> მდგომარეობაშია — დეიტერიუმის ნათურა ერთწუთიანი გახურების შემდეგ აინთება ავტომატურად ;
- სპექტროფოტომეტრის ნორმალური მუშაობისათვის იგი უნდა გავახუროთ 30 წუთის განმავლობაში;
- კიუვეტების საჭერში ჩავაყენოთ სამი კიუვეტა გამოსაკვლევი ნიმუშებით და ერთი კიუვეტა საკონტროლო ხსნარით, კიუვეტების საჭერი მოვათავსოთ საკიუვეტო განყოფილებაში;
- დავაყენოთ ტალღის სასურველი სიგრძე სახელურის 7 შემოტრიალებით ტალღების სიგრძის გაზრდის მიმართულებით. თუ ამ დროს სკალა შემობრუნდება მეტი სიდიდით, დავაბრუნოთ უკან 5-10 ნმ-ით და ისევ მოვიყვანოთ სასურველ დანაყოფთან;
- სახელურით 4 და გამანათებელი ბლოკის ბერკეტით მოვიყვანოთ ხელსაწყო გაზომვის შერჩეული სპექტრული დიაპაზონის შესაბამის მუშა მდგომარეობაში;
- ყოველი ახალი გაზომვის წინ, როდესაც წინასწარ ცნობილი არაა გამოსავალი ძაბვის მნიშვნელობა, უნდა

დავაყენოთ ჭვრიტეს სიგანე 0,15 ნმ (ფოტოელემენტების მწყობრიდან გამოსვლის ასაცილებლად);

- ანათვლების აღება დასაშვებია საკუუვეტო განყოფილების მჭიდროდ დახურული სახურავის შემთხვევაში. საკუუვეტო განყოფილების სახურავის გახსნა დასაშვებია შტორის სახელურის დახურულ მდგომარეობაში <<ЗАКР>> გადაყვანის შემდეგ.

გატარების კოეფიციენტის გაზომვა. СФ-46 სპექტროფოტომეტრით გატარების კოეფიციენტის გაზომვა ხდება შემდეგნაირად:

◆ სახელური 14 დავაყენოთ მდგომარეობაში <<ЗАКР>> ;

◆ დავაჭიროთ კლავიშს <<Ш(0)>>; ამ დროს ფოტომეტრულ ტაბლოზე გამოსახდება ფოტოელემენტის სიბნელის დენის პროპორციული სიგნალის მნიშვნელობა ვოლტებში;

◆ სახელურით 15 <<НУЛЬ>> ფოტომეტრულ ტაბლოზე დავაყენოთ რიცხვითი მნიშვნელობა 0,05-დან 0,1-მდე. ახათვალი ტაბლოდან უნდა მოვხსნათ კლავიშზე <<Ш(0)>> რამდენჯერმე დაჭერით, ვიდრე ტაბლოზე არ გამოჩნდება წინა ჩვენების ტოლი ან მისგან მცირედ (0,001-ით) განსხვავებული ჩვენება. უკანასკნელი ჩვენება შეიტანება მიკროპროცესორული სისტემის მეხსიერებაში და ინახება იქ კლავიშზე <<Ш(0)>> შემდგომ დაჭერამდე;

◆ გამოსხივების ნაკადში სახელურით 12 მოვათავსოთ საკონტროლო ნიმუში. თუ საკონტროლო ნიმუში არა გვაქვს, გაზომვა ჩატარდება ჰაერის მიმართ;

◆ სახელური 14 გადავიყვანოთ მდგომარეობაში <<ОТКР>>;

◆ კლავიშზე <<К(1)>> დაჭერისას სახელურით 11 <<ШЕЛЬ>> დავაყენოთ ფოტომეტრულ ტაბლოზე ჩვენება 0,5-დან 5,0 დიაპაზონში. დავაკვირდეთ მძიმის ციმციმს ფოტომეტრულ ტაბლოზე (ციმციმის სიხშირეა — წამში ერთხელ), ათი წამის ათვლის შემდეგ დავაჭიროთ კლავიშს <<К(1)>> (ამ კლავიშზე დაჭერისას მარცხნივ გამოსახდება ინდექსი <<1>>; 5,0-ზე მეტი ჩვენებისას ტაბლოზე გამოსახდება ინდექსი <<П>>);

◆ დავაჭიროთ კლავიშს <<τ(2)>>, ფოტომეტრულ ტაბლოზე უნდა გაჩნდეს ჩვენება 100,0±0,1, ხოლო მარცხნივ — ინდექსი <<2>>. თუ ჩვენებას აქვს სხვა მნიშვნელობა, კიდევ ერთხელ უნდა შევიტანოთ შედარების სიგნალის მნიშვნელობა კლავიშზე <<К(1)>> დაჭერით;

◆ დავაჭიროთ კლავიშს <<Ц/Р>> (ამ დროს უნდა განათდეს <<Ц>> რეჟიმის ინდიკატორი). დავაჭიროთ კლავიშს <<τ(2)>>. სპექტროფოტომეტრი გადავა გაზომვის ციკლურ რეჟიმში და გაზომავს ნიმუშს ყოველ 5 წამში ერთხელ გაზომვის შედეგის გამოსახებით;

◆ გამოსხივების ნაკადში რიგ-რიგობით მოვათავსოთ გამოსაკვლევი ნიმუშები სახელურით 12 და მას შემდეგ, რაც გაჩნდება წინასაგან არა უმეტეს 0,1-ით განსხვავებული ჩვენება, ავითვალოთ ის ფოტომეტრული ტაბლოდან;

◆ ხანმოკლე გაზომვების შემთხვევაში, როდესაც სიბნელის დენის სიდიდე არ იცვლება, შეგვიძლია ეს სიდიდე არ შევიტანოთ მიკროპროცესორული სისტემის მეხსიერებაში ყოველი გაზომვის დროს. ამ შემთხვევაში ყველა შემდგომი გაზომვა (მეორედან მოყოლებული) უნდა ჩავატაროთ მეოთხე პუნქტიდან დაწყებული.

ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრა. СФ-46 სპექტროფოტომეტრით სიმკვრივის გაზომვა წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით:

- ჩავატაროთ გატარების კოეფიციენტის გაზომვის პირველი ექვსი ოპერაცია;
- დავაჭიროთ კლავიშს <<D(5)>>; ამ დროს ფოტომეტრულ ტაბლოზე უნდა გაჩნდეს ჩვენება 0,000± 0,001, ხოლო მარცხნივ — ინდექსი <<5>>. თუ ჩვენება განსხვავდება აღნიშნულისაგან, მაშინ კიდევ ერთხელ უნდა შევიტანოთ შედარების სიგნალის მნიშვნელობა კლავიშზე <<К(1)>> დაჭერით;

▪ დავაჭიროთ კლავიშს <<Ц/Р>>, ამ დროს უნდა ანათებდეს ინდიკატორი <<Ц>>. დავაჭიროთ კლავიშს <<D(5)>>;

საბელურით 12 გამოსხივების ნაკადში რიგ-რიგობით მოვათავსოთ გამოსაკვლევი ნიმუშები. ჩვენებების დამყარების შემდეგ (მას შემდეგ, რაც მომდევნო ჩვენებები განსხვავებული აღმოჩნდება არა უმეტეს 0,001-ისა), ავიღოთ ანათვალი ფოტომეტრული ტაბლოდან.

შენიშვნა: ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრის რეჟიმში მიკროპროცესორული სისტემა ახდენს ოპტიკური სიმკვრივის გამოთვლას ფორმულით D= -lgτ, სადაც τ გასაზომი ნიმუშის გატარების კოეფიციენტია.

კონცენტრაციის გაზომვა. СФ-46 სპექტროფოტომეტრით კონცენტრაციის განსაზღვრა შესაძლოა იმ შემთხვევაში, თუ გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე წრფივადაა დამოკიდებული კონცენტრაციაზე.

გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია გამოითვლება ფორმულით

$$C=\frac{D-[}{b},$$

სადაც [, b საგრადუირებელი გრაფიკით განსაზღვრული კოეფიციენტებია.

საგრადუირებელი გრაფიკი უნდა ავაგოთ შემდეგნაირად:

მოვამზადოთ მოცემული ნივთიერების ხსნარების მწკრივი ცნობილი კონცენტრაციებით (ეს კონცენტრაციები უნდა მოიცავდნენ გამოსაკვლევ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილების შესაძლო არეს).

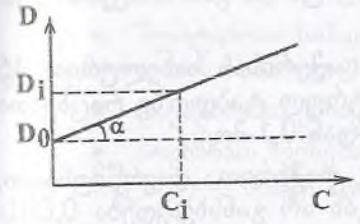
განვსაზღვროთ ყველა ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე და ავაგოთ საგრადუირებელი გრაფიკი. საგრადუირებელი გრაფიკით განვსაზღვროთ კოეფიციენტები [, b .

[=D_0 –ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობაა C=0-ის დროს, ე.ი. საგრადუირებელი გრაფიკის ოპტიკური სიმკვრივის ღერძთან გადაკვეთისას.

$$b=\operatorname{tg}\alpha=\frac{Di-[}{Ci},$$

სადაც α კუთხეა საგრადუირებელ წრფესა და კონცენტრაციების ღერძს შორის;

(Ci, Di)- საგრადუირებელი გრაფიკის მიმდინარე წერტილია (ნახ.165).



ნახ.165

ცხრილი 17

b	K
1-10	10^{-1}
10-100	10^{-2}
100-1000	10^{-3}
1000-10000	10^{-4}
10000-1000000	10^{-5}

ინფორმაციის დაკარგვის თავიდან ასაცილებლად (ტაბლოზე გამონათდება მხოლოდ ოთხი ნიშნადი ციფრი) b მუდმივას მნიშვნელობა უნდა იმყოფებოდეს დიაპაზონში 0,001-დან 1,0-მდე. ამასთან დაკავშირებით მიკროპროცესორული სისტემის მეხსიერებაში b მუდმივას ნაცვლად უნდა შევიტანოთ სიდიდე

$$b'=b\cdot K,$$

სადაც K სამასშტაბო კოეფიციენტია.

K კოეფიციენტები b-ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის მოცემულია მე-17 ცხრილში.

ამ დროს C-ს ჭეშმარიტი მნიშვნელობის მაგივრად ფოტომეტრულ ტაბლოზე მივიღებთ მნიშვნელობას

$$C'=\frac{C}{K}$$

და უნდა ჩავატაროთ გამოთვლა

$$C=C'K.$$

კონცენტრაციის განსაზღვრა უნდა ჩავატაროთ შემდეგი მიმდევრობით:

- შტორის გადართვის საბელური 14 დავაყენოთ მდგომარეობაში <<ЗАКР>>;
- საკიუვეტო განყოფილებაში ჩავაყენოთ კიუვეტა გამოსაკვლევი ხსნარით და კიუვეტა გამხსნელით;

• ტალღის სიგრძის ცვლილების სახელურის შე
მობრუნებით დავაყენოთ ტალღის საჭირო სიგრძე;

• სახელურის 4 და გამანათებელი ბლოკის ბერკე-
ტის საშუალებით შევირჩიოთ მოცემული სპექტრული დია-
პაზონის შესაბამისი ფოტოელემენტი და გამოსხივების წყა-
რო;

• კლავიშზე <<Ш(0)>> დაჭერისას სახელურით 15
<<НУЛЬ>> დავაყენოთ ფოტომეტრულ ტაბლოზე რიცხვითი
მნიშვნელობა დიაპაზონში 0,05-დან 0,1-მდე;

• კლავიშზე <<Ш(0)>> დაჭერით დავრწმუნდეთ,
რომ შემდგომი ჩვენება წინასაგან არ განსხვავდება 0,001-
ზე მეტად;

• შევიტანოთ [და b მუდმივების მნიშვნელობები
მიკროპროცესორული სისტემის მეხსიერებაში. თუ ოპერა-
ტორი არ შეიტანს ამ მუდმივებს, მიკროპროცესორული
სისტემა ჩათვლის, რომ [=0 , b=1. კლავიატურიდან შეტა-
ნილი მუდმივების მნიშვნელობების დახსომება ხდება კლა-
ვიშის <<ПУСК>> დაჭერამდე ან ახალი მუდმივების შეტა-
ნამდე.

იმისათვის, რომ შევიტანოთ [მნიშვნელობა უნდა
დავაჭიროთ კლავიშს << [>> (ამ დროს ტაბლოზე გაჩნდება
ინდექსი << [>> და გამოსათდება რიცხვი <<0,000>>). დავაჭი-
როთ კლავიშს <<СБР>> და ავკრიფოთ კლავიატურიდან [
მუდმივას საჭირო მნიშვნელობა, რის შემდეგაც დავაჭიროთ
კლავიშს <<УТВ>>.

b მუდმივას შეტანისათვის დავაჭიროთ კლავიშს
<<b>>, ამ დროს ტაბლოზე გაჩნდება ინდექსი <<b>> და გა-
მოსათდება რიცხვი <<1,000>>. დავაჭიროთ კლავიშს <<СБР>>
და შევიტანოთ კლავიატურიდან b მუდმივას საჭირო მნიშ-
ვნელობა. დავაჭიროთ კლავიშს <<УТВ>>.

• სინათლის ნაკადში მოვათავსოთ კიუვეტა გამხ-
სნელით;

• შტორის სახელური 14 დავაყენოთ მდგომარე-
ობაში <<ОТКР>> ;

• კლავიშზე <<К(1)>> დაჭერისას სახელურით 11
<<ШЕЛЬ>> დავაყენოთ ფოტომეტრულ ტაბლოზე ჩვენება
0,5-დან 5,0-მდე დიაპაზონში. ათი წამის ათვლის შემდეგ
(მოცემციმე მძიმის მიხედვით) დავაჭიროთ კლავიშს
<<К(1)>>;

• შევიტანოთ სინათლის ნაკადში კიუვეტა უცნობი
კონცენტრაციის ხსნარით;

• დავაჭიროთ კლავიშს <<С(4)>> ;

• მოვხსნათ ჩვენება ფოტომეტრული ტაბლოდან.

*ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის განსაზ-
ღვრა:*

♦ შტორის გადართვის სახელური 14 დავაყენოთ
მდგომარეობაში <<ЗАКР>>;

♦ ჩავაყენოთ კიუვეტები გასაზომი ხსნარითა და
გამხსნელით კიუვეტების საჭერში და მოვათავსოთ საკი-
უვეტო განყოფილებაში;

♦ კლავიშზე <<Ш(0)>> დაჭერისას სახელურით 15
<<НУЛЬ>> დავაყენოთ ფოტომეტრულ ტაბლოზე ჩვენება
0,05-დან 0,1-მდე ფარგლებში. დავრწმუნდეთ, რომ შემ-
დგომი მნიშვნელობა განსხვავდება წინასაგან არა უმეტეს
0,001-ისა;

♦ შევიტანოთ მიკროპროცესორული სისტემის მეხ-
სიერებაში [და b მუდმივები (ეს ოპერაცია აღწერილია
კონცენტრაციის განსაზღვრის სათანადო პუნქტში);

♦ შტორის გადართვის სახელური დავაყენოთ მდგო-
მარეობაში <<ОТКР>> ;

♦ კლავიშზე <<К(1)>> დაჭერისას სახელურით 11
<<ШЕЛЬ>> ფოტომეტრულ ტაბლოზე დავაყენოთ ჩვენება
0,5-დან 5,0-მდე დიაპაზონში. ათი წამის ათვლის შემდეგ
დავაჭიროთ კლავიშს <<К(1)>> ;

♦ შევიტანოთ სინათლის ნაკადში მუშა კიუვეტა;

♦ დავაჭიროთ კლავიშს <<А(3)>> , ამ დროს ფოტო-
მეტრულ ტაბლოზე გაჩნდება ინდექსი <<] >> და გამო-

ნათდება რიცხვი <<1,000>>, რაც შეესაბამება 10 წმ-ის ტოლ დროის ინტერვალს გაზომვებს შორის;

♦ თუ დროის ეს ინტერვალი შესაცვლელია, უნდა დავაჭიროთ კლავიშს <<СБР>> ;

♦ დავაყენოთ გაზომვებს შორის საჭირო დროის ინტერვალი <<1>> -<<9>> კლავიშებიდან ერთ-ერთზე დაჭერით (ეს შეესაბამება გაზომვებს შორის დროის ინტერვალს 10-დან 90 წმ-მდე;

♦ დავაჭიროთ კლავიშს <<УТВ>>, ფოტომეტრულ ტაბლოზე მარცხნივ განათდება ინდექსი <<3>>, დანარჩენ თანრიგებში ნათება არაა;

♦ ფოტომეტრულ ტაბლოზე რიცხვითი მნიშვნელობის გაჩენის შემდეგ მოვხსნათ ანათვალი.

შესაძლოა მუშაობა ციკლურ რეჟიმშიც. ამ დროს ყოველი შემდგომი მნიშვნელობა დაახასიათებს სიმკვრივის ცვლილებას დროის მოცემულ შუალედში წინა მნიშვნელობის მიმართ.

ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილების სიჩქარის გამოანგარიშება ხდება ფორმულით

$$\Delta = \left(\frac{D_2 - D_1}{\Delta t} \cdot 60 - [\right) / b ,$$

სადაც Δ ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილებაა 1 წუთში;

D_1, D_2—ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობა შეტანილი Δt დროითი ინტერვალის დასაწყისსა და ბოლოში.

ოპერატორის მიერ წამებში შეტანილი დროითი ინტერვალი მიკროპროცესორს გადაყავს წუთებში.

მანგანუმის სპექტროფოტომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა პერმანგანატ-იონის (MnO_4^-) სახით საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით: ეს მეთოდიკა დაფუძნებულია მანგანუმის იონის (Mn^{2+}) დაჟანგვაზე MnO_4^- იონამდე ამონიუმპერსულფატით $(NH_4)_2S_2O_3$ კატალიზატორის სახით ვერცხლნიტრატის გამოყენებისას. ამ დროს მიიღება ჟოლოსფერ-იისფერი პერმანგანატ იონები. ხსნარის შეფერილობასა და მანგანუმის კონცენტრაციას შორის არსებობს განსაზღვრული დამოკიდებულება.

სპექტროფოტომეტრით ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვამდე უნდა მოვამზადოთ მანგანუმის მარილის ეტალონური (სტანდარტული) ხსნარი, ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების მწკრივი და ავაგოთ საგრადუირებელი მრუდი.

ეტალონურ ხსნარს ამზადებენ შემდეგნაირად: ჯერ ამზადებენ კალიუმპერმანგანატის ზუსტად 0,1 ნ ხსნარს. შემდეგ ამ ხსნარის 0,1 მლ გადააქვთ 100 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში, ანზავებენ გამოხდილი წყლით ჭდემდე და კარგად აურევენ. ასეთნაირად მიღებული იქნება ეტალონური ხსნარი, რომლის 1 მლ შეიცავს მანგანუმის 0,1 მგ-ს.

საგრადუირებელი მრუდის ასაგებად 50 მლ ტევადობის ექვს საზომ კოლბაში პიპეტით გადავიტანოთ კალიუმპერმანგანატის ეტალონური ხსნარის შესაბამისად 10, 12, 14, 16, 18 და 20 მლ. ყველა კოლბაში დავამატოთ კონცენტრირებული (1,84 გ/სმ³) გოგირდმჟავას 1 მლ და გამოხდილი წყლით შევავსოთ კოლბები ჭდემდე, საგულდაგულოდ ავურიოთ. სპექტროფოტომეტრით გავზომოთ ექვსი მიღებული ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე 525 ნმ ტალღის სიგრძის დროს 2 სმ მუშა სიგრძის კიუვეტაში. ნულოვანი ხსნარის სახით გამოვიყენოთ გამოხდილი წყალი. ოპტიკური სიმკვრივის გაზომილი მნიშვნელობის მიხედვით ავაგოთ საგრადუირებელი მრუდი.

გამოსაკვლევ ხსნარში მანგანუმის განსაზღვრა. 50 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში მოვათავსოთ მანგანუმის 0,05 - 1,0 მგ-ის შემცველი გამოსაკვლევი ხსნარის 5 მლ, დავამატოთ კონცენტრირებული გოგირდმჟავას 1 მლ, ფოსფორმჟავას (1,7 გ/სმ³) 0,5 მლ და გამოხდილი წყლის 30 მლ. მიღებული ხსნარი საგულდაგულოდ ავურიოთ, დავამატოთ 1 მლ ხსნარისა ვერცხლნიტრატის 0,1% მასური წილით და 5 მლ ახალმომზადებული ხსნარისა ამონიუმპერსულფატის 25% მასური წილით.

მიღებული ნარევი გავახუროთ წყლის აბაზანაზე 70-80 °C პირობებში, ვიდრე ხსნარის ჟოლოსფერ-იისფერი შეფერილობა შეწყვეტს გამუქებას. ამის შემდეგ კოლბის შიგთავსი გავაცივოთ, ხსნარის მოცულობა კოლბაში შევავსოთ ჭდემდე გამოხდილი წყლით და საგულდაგულოდ ავურიოთ.

10-15 წუთის შემდეგ გავზომოთ ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე სპექტროფოტომეტრით ტალღის 526 ნმ სიგრძის დროს 2 სმ მუშა სიგრძის კიუვეტაში. ნულოვანი ხსნარის სახით გამოვიყენოთ გამოხდილი წყალი.

მანგანუმის Mn^{2+} იონის შემცველობა გამოსაკვლევ ხსნარში მოვძებნოთ საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით. განსაზღვრა გავიმეოროთ სამჯერ და ავიღოთ საშუალო მნიშვნელობა.

2.2.2.4. ნეფელომეტრული ანალიზი

ნეფელომეტრული[1] ანალიზის არსი მდგომარეობს ნივთიერების რაოდენობით განსაზღვრაში ხსნარის სიმღვრივის ხარისხის მიხედვით. დასაწყისში ნეფელომეტრულ ანალიზს იყენებდნენ ზოგიერთი ბუნებრივად მღვრიე ობიექტების (მაგალითად, მდინარის წყალი) ანალიზისათვის. შემდგომ ამ მეთოდით დაიწყეს სხვადასხვა, მათ შორის გახსნილი, ნივთიერებების განსაზღვრაც. მაგრამ ამისათვის საჭირო გახდა წინასწარ ხელოვნური სუსპენზიების შექმნა. განსასაზღვრ ნივთიერებას (იონს) და რეაქტივს შორის რეაქციის შედეგად იქმნება ძნელხსნადი ნაერთი. იმ დროს, როდესაც რომელიმე ნივთიერების დიდი რაოდენობა ამ რეაქტივთან ქმნის ლექს, ძალიან მცირე რაოდენობა ქმნის მსუბუქ მღვრიას. ამიტომ ნეფელომეტრიის მეთოდით საზღვრავენ ნივთიერების ძალიან მცირე რაოდენობას.

ხსნარში შეტივნარებული უხსნადი ნივთიერების დანაწილების (დისპერსიულობის) ხარისხის მიხედვით სიმღვრივის მოვლენა შეიძლება იქნეს გამოწვეული სხვადასხვა მიზეზით. თუ დისპერსიულობის ხარისხი ისეთია, რომ შეტივნარებული ნივთიერების ცალკეული მარცვლების ზომები აღემატება სპექტრის ხილული ტალღის სიგრძეს, მაშინ სიმღვრივე წარმოადგენს სინათლის სხივების არეკვლის შედეგს. თუ მარცვლების ზომები კოლოიდური ნაწილაკების რიგისაა და უახლოვდება სინათლის ტალღების სიგრძის მნიშვნელობებს ან მათზე უფრო მცირეა, ხილული სიმღვრივე წარმოადგენს სინათლის გაბნევის შედეგს (*ტინდალის ეფექტი*).

სინათლის გაბნევას სხვადასხვა ხასიათი აქვს დისპერსირებული ნაწილაკების ზომის და ვარდნილი სინათლის ტალღის სიგრძის მიხედვით. თუ შეტივნარებული ნაწილაკების ზომა არ აღემატება ტალღის სიგრძის 0,1-ს, სინათლის გაბნევა სიმეტრიულია და მას რელეის სინათლის გაბნევას უწოდებენ. უფრო მეტი ზომის ნაწილაკებით სინათლის გაბნევა უფრო ძლიერია, მაგრამ შესაბამისად არათანაბარიც: იგი უფრო ძლიერია ვარდნილი სინათლის სხივის მოძრაობის მიმართულებით.

[1] ბერძნ. nephelë - ღრუბელი და ...მეტრია.

სინათლის გაბნევის სიდიდე დაძოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე. ის შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით:

$$I = \frac{9 \cdot n \cdot \pi^2 \cdot v^2 \cdot A^2}{\lambda^4 \cdot x^2} \cdot \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 - 2n_0^2} \quad (48)$$

მაშასადამე, სინათლის გაბნევის სიდიდე I პირდაპირპროპორციულია ნაწილაკების n რაოდენობის, ვარდნილი სინათლის A ამპლიტუდის კვადრატის და ნაწილაკების v მოცულობის კვადრატის და უკუპროპორციულია სინათლის სხივის ტალღის λ სიგრძის მეოთხე ხარისხისა და სინათლის წყაროდან x მანძილის კვადრატისა. სინათლის გაბნევის სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე გარემოს (გამხსნელის) გარდატეხის n_1 მაჩვენებელზე და შეტივნარებული ნაწილაკების გარდატეხის n_0 მაჩვენებელზეც.

სინათლის გაბნევის თეორია შეგვიძლია გამოვიყენოთ როგორც გაბნეული სინათლის ინტენსიურობის გაზომვისას (საკუთრივ ნეფელომეტრია), ისე გაბნევის შედეგად შესუსტებული გამავალი სინათლის ინტენსიურობის გაზომვისას (ტურბიდიმეტრია).

ნეფელომეტრია წარმოადგენს მოცემულ გარემოში ხილული და ულტრაიისფერი სინათლის გაბნევის ინტენსიურობის გაზომვის მეთოდების ერთობლიობას, რომლებიც გამიზნულია დისპერსიულ სისტემებში დისპერსირებული ნაწილაკების კონცენტრაციის, ზომებისა და ფორმის დასადგენად.

გამოსაკვლევი ხსნარის სიმღვრივის ხარისხი განისაზღვრება გაბნეული სინათლის ინტენსიურობის მიხედვით სტანდარტული ხსნარების სიმღვრივესთან მისი შედარებით.

ქლორიდების ნეფელომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა სტანდარტული მწკრივის გამოყენებით: განსაზღვრას საფუძვლად უდევს ვერცხლისტრატით ქლორიდების დალექვა ვერცხლქლორიდის წვრილდისპერსიული ტივტივარის წარმოქმნით ($NaCl + AgNO_3 = AgCl\downarrow + NaNO_3$).

ქლორიდის სტანდარტული ხსნარის მომზადება. ქიმიურად სუფთა კალიუმქლორიდის 0,2103 გ გავხსნათ წყალში 1 ლ ტევადობის საზომ კოლბაში. ხსნარის კონცენტრაცია იქნება 0,1 მგ Cl^- 1 მლ-ში.

$AgNO_3$ -ის 0,05 ნ ხსნარის მომზადება. 1 ლ ტევადობის საზომ კოლბაში გამოხდილ წყალში გავხსნათ ვერცხლნიტრატის 8,50 გ.

სტანდარტული შწკრივის მეთოდით განსაზღვრა. რვა კოლორიმეტრულ სინჯარაში გრადუირებული პიპეტით გადავიტანოთ ქლორიდის სტანდარტული ხსნარის 0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 1,2; 1,7 2,0 და 2,5 მლ. ხოლო მეცხრე სინჯარაში—გამოსაკვლევი ხსნარის 2 მლ. ყველა სინჯარაში დავამატოთ წყალი ისე, რომ სითხის მოცულობა გახდეს 5 მლ. თითო მილილიტრი 0,2 ნ HNO_3, თითო მილილიტრი 0,05 ნ $AgNO_3$ წყლით შევავსოთ 10 მილილიტრამდე. 5 წუთის შემდეგ შევადაროთ გამოსაკვლევი ხსნარის სიმღვრივე სტანდარტული შწკრივის სიმღვრივესთან შავ ფონზე.

თუ გვექნება განსხვავებული კონცენტრაციის ორი მღვრიე გარემო ერთნაირი ფორმისა და ზომის ნაწილაკებით, გაბნეული სინათლის სიკაშკაშე კონცენტრაციის პროპორციული აღმოჩნდება. ამრიგად, ორი სითხის სიმღვრივის ხარისხის შედარებისას მათ მიმართ შესაძლოა ბერის ძირითადი კოლორიმეტრული კანონის გამოყენება.

$$C_1 l_1 = C_2 l_2, \qquad (49)$$

საიდანაც სტანდარტული ხსნარის სიმღვრივის ცნობილი C_2 კონცენტრაციის, ხსნარების ფენების l_1 და l_2 სისქეების მიხედვით ადვილად გამოვიანგარიშებთ სიმღვრივის კონცენტრაციას გამოსაკვლევ ხსნარში

$$C_1 = \frac{C_2 l_2}{l_1}. \qquad (50)$$

მღვრიე ხსნარების შედარება შეიძლება უბრალო სინჯარებში. უმარტივესი ხერხია ფენის სისქის განსაზღვრა, რომლის დროსაც ქაღალდზე რაიმე ჩანაწერი უკვე არ ჩანს.

უმარტივესი ნეფელომეტრის სახით შეგვიძლია გამოვიყენოთ ჩვეულებრივი კოლორიმეტრული ცილინდრები. მღვრიე ხსნარების შედარებისას ეს ხსნარები სინათლის წყაროს მიმართ ისე უნდა განვალაგოთ, რომ სინათლის წყაროს ხსნართან შემაერთებელი წრფე მართობული აღმოჩნდეს თვალისა და ხსნარის გამაერთიანებელი წრფის მიმართ.

მაგრამ, ისევე როგორც კოლორიმეტრიის დროს, ასეთი გამარტივებული ნეფელომეტრიაც არ მოგვცემს ზუსტ შედეგებს. ამიტომ საპასუხისმგებლო ანალიზების დროს იყენებენ უფრო სრულყოფილ ნეფელომეტრებს, რომლებიც თავისი კონსტრუქციით ძოგვაგონებს ჩაძირვის კოლორიმეტრებს.

ნეფელომეტრს კოლორიმეტრისაგან ძირითადად ასხვავებს გამანათებელი მოწყობილობა. თუ კოლორიმეტრში ვაკვირდებით გამოსაკვლევი სითხის სვეტში ქვემოდან ზევით გასული სინათლის სხივებს, ნეფელომეტრში განათება ხდება არა ქვემოდან, არამედ გვერდიდან და დამკვირვებლის თვალში ხვდება მხოლოდ არეკვლილი ან გაბნეული შუქი, რომელიც დაცემული სინათლის ნაკადის მიმართ მიმართულია 90°-ანი კუთხით. ნეფელომეტრის სახით შეგვიძლია გამოვიყენოთ ჩვეულებრივი ჩაძირვის კოლორიმეტრიც, მაგრამ სინათლის წყარო უნდა გახვალაგოთ ისე, რომ სინათლე გადიოდეს არა ჭიქის ღერძის გასწვრივ, არამედ მის მართობულად.

სპეციალურ ნეფელომეტრებში ხსნარში გამავალი სინათლის ძალა იცვლება დიაფრაგმით. სტანდარტული და გამოსაკვლევი ხსნარების ერთნაირი სიმღვრივის ხარისხის მისაღებად ცვლიან სინათლის ჰვრიტეების სიმაღლეს. ანათვლებს იღებენ ნონიუსიან სახაზავებზე, რომლებიც მოთავსებულია ნეფელომეტრის ჰვრიტეს გამშლელ კრემალიერებთან. ამ ანათვლების ჩასმით კოლორიმეტრულ ფორმულაში (50) საზღვრავენ სიმღვრივის კონცენტრაციას გამოსაკვლევ სითხეში.

კარგი შედეგი მიიღება შეუღებავი სიმღვრივეების შემთხვევაში. თუ სიმღვრივეს გააჩნია შეფერილობა, სასურველი შედეგების მისაღებად ნეფელომეტრის ჰვრიტეს გამანათებელი სინათლის სხივების გზაზე უნდა მოვათავსოთ მაკომპენსირებელი შუქფილტრი. ასეთი შუქფილტრის როლი შეიძლება შეასრულოს მინის კიუვეტამ ბრტყელპარალელური გვერდებით, რომელიც შევსებულია გამოსაკვლევი სიმღვრივის ფერის სითხით.

მოსახერხებელია ნეფელომეტრიაში გამოვიყენოთ ფოტონეფელომეტრები, სადაც სიმღვრივის ხარისხის გაზომვა ხდება ფოტოელემენტებით. ასეთ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება, მაგალითად ФНК-51 ტიპის ფოტონეფელომეტრ-კოლორიმეტრი. გაზომვისას სინათლე გადის ორ შესადარებელ ხსნარში (რომელთაგანაც ერთი მღვრიეა) და ხვდება ორ ფოტოელემენტს; ფოტოდენების სხვაობის კომპენ-

საცია ხდება პოტენციომეტრით და ამ უკანასკნელის ანათვლების მიხედვით საზღვრავენ ხსნარის სიმღვრივის ხარისხს.

სულფატების ნეფელომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა საგრადუირებელი მრუდის გამოყენებით: განსაზღვრა დამოკიდებულია ბარიუმქლორიდის გამოყენებით ბარიუმსულფატის თეთრი სუსპენზიის მიღებაზე ($K_2SO_4+BaCl_2=Ba\,SO_4\downarrow+2KCl$).

სულფატის სტანდარტული ხსნარის მომზადება. ქიმიურად სუფთა კალიუმსულფატის 0,1814 გ გავხსნათ წყალში 1 ლ ტევადობის საზომ კოლბაში. ასეთი ხსნარის 1 მლ შეიცავს SO_4^{2-}-ის 0,1 მგ-ს.

ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების მომზადება. 50 მლ ტევადობის ოთხ საზომ კოლბაში გრადუირებული პიპეტით გადავიტანოთ სულფატის სტანდარტული ხსნარის 4, 7, 10 და 13 მლ შესაბამისად. თითოეულ კოლბაში დავამატოთ 1 მლ 0,1 ნ *HCl*, გავანავაზოთ გამოხდილი წყლით კოლბას მოცულობის 2/3-მდე, დავამატოთ ბარიუმქლორიდის 10%-ანი ხსნარის 2 მლ, შევავსოთ კოლბები გამოხდილი წყლით ჰდემდე და კარგად ავურიოთ. ასეთნაირად მიღებული ხსნარების 1 მლ შეიცავს შესაბამისად SO_4^{2-}-ის 0,008; 0,014; 0,02 და 0,026 მგ-ს. ხსნარების მომზადების მომენტიდან 10 წუთის შემდეგ ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე 20 ან 30 მმ მუშა სიგრძის კიუვეტაში ყვითელი შუქფილტრის გამოყენებით ჩავატაროთ გაზომვები. მიღებული შედეგების მიხედვით ავაგოთ საგრადუირებელი მრუდი.

შემდეგ მოვამზადოთ გამოსაკვლევი ხსნარი. ამისათვის 50 მლ ტევადობის საზომ კოლბაში მოვათავსოთ განსასაზღვრავი ხსნარის ზუსტად მოზომილი რაოდენობა, დავამატოთ 1 მლ 0,1 ნ *HCL*, განვაზავოთ გამოხდილი წყლით კოლბას მოცულობის 2/3-მდე, დავამატოთ ბარიუმქლორიდის 10%-ანი ხსნარის 2 მლ, შევავსოთ კოლბა გამოხდილი წყლით ჰდემდე და ავურიოთ. 10 წუთის შემდეგ ჩავატაროთ გაზომვა ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე იმავე მუშა სიგრძის კიუვეტაში და იგივე მუქფილტრის გამოყენებით. საგრადუირებელი მრუდით განვსაზღვროთ აღებულ პორციაში გამოსაკვლევი ხსნარის SO_4^{2-} შემცველობა მილიგრამებში.

ნეფელომეტრიის მეთოდის გამოყენებისას უნდა შესრულდეს შემდეგი პირობები:

ა) ტივტივარების შემქმნელი ნივთიერებები უნდა იხსნებოდეს უმნიშვნელოდ;

ბ) ტივტივარები უნდა იყოს სტაბილური, არ ილექებოდეს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში;

გ) გამოსაკვლევი და სტანდარტული ნივთიერების ტივტივარები უნდა დამზადდეს ერთდროულად ერთი და იმავე ხერხით, რომ მივიღოთ ერთნაირი ზომის ნაწილაკები.

სუსპენზიის აღწარმოებადობა წარმოადგენს ზუსტი ნეფელომეტრული განსაზღვრის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პირობას;

დ) განსაზღვრის ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს 15 წუთს.

ნეფელომეტრული ანალიზი გამოიყენება წყალში ნავთობპროდუქტების განსაზღვრისათვის, ფარმაცევტული, საკვების და სხვ. პროდუქტების ანალიზისათვის.

ნეფელომეტრული ანალიზი ეფექტურია ნივთიერებათა კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის 10^{-5}-10^{-4} % კონცენტრაციათა არეში ±5%-ის სიზუსტით.

2.2.2.5. ემისიური ალიან-ფოტომეტრული ანალიზი

ემისიური ალიან-ფოტომეტრული ანალიზი წარმოადგენს ემისიური სპექტრული ანალიზის ერთ-ერთ ძირითად მეთოდს. იგი ანალიზის ფიზიკური მეთოდია.

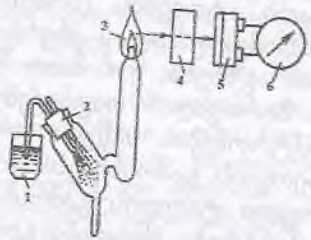
ალიანი ფოტომეტრია დაფუძნებულია ალში ნივთიერებათა გახურების შედეგად მათი ატომების (იონების) გამოსხივების ინტენსიურობის გაზომვაზე. ალის ენერგიის მოქმედებისას ჯერ ხდება ატომების აგზნება, ე.ი. მათი ზოგიერთი ელექტრონის გადასვლა ბირთვიდან დაცილებულ ორბიტებზე, ხოლო შემდეგ ელექტრონების საწყის ორბიტებზე დაბრუნების შედეგად ენერგიის გამოსხივება ყოველი ელემენტისათვის განსაზღვრული ტალღის გამოსხივების სახით. ამ დროს მიღებულ სპექტრებს ეწოდება გამოსხივების ანუ ემისიური სპექტრები.

ემისიური სპექტრები საკმაოდ მარტივია და შედგება რამდენიმე სპექტრული ხაზისაგან, რომლებიც განსხვავდება ყოველი ელემენტისათვის დამახასიათებელი ტალღის სიგრძით. ეს საშუალებას გვაძლევს სპექტრების მიხედვით განვასხვავოთ საანალიზო ნივთიერებები, გამოვიყენოთ ეს სპექტრები არა მარტო თვისებითი, არამედ რაოდენობითი ანალიზისათვის. ეს უკანასკნელი დაფუძნებულია იმაზე, რომ საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციათა გარკვეულ დიაპაზონში ატომების გამოსხივების ინტენსიურობა პროპორციულია ალში შეტანილ ხსნარში მათი შემცველობისა.

ელემენტისათვის დამახასიათებელი სპექტრული ხაზის გამოყოფა ალიან ფოტომეტრებში ხდება სათანადო შუქფილტრის გამოყენებით, რომელიც ატარებს დამახასიათებელ გამოსხივებას. ამ უკანასკნელიდან სხივი ეცემა ფოტოელემენტს, გალვანომეტრით იზომება აღძრული დენის ძალა და განისაზღვრება გამოსხივების ინტენსიურობა. საძიებელი ელემენტის შემცველობა მოიძებნება სტანდარტული ხსნარების სერიისათვის აგებული საკალიბრებელი მრუდის მიხედვით.

ალიან ფოტომეტრიას იყენებენ ძირითადად ტუტე და ტუტემიწა ლითონების (ლითიუმი, ნატრიუმი, კალიუმი, რუბიდიუმი, ცეზიუმი, მანგანუმი, კალციუმი, სტრონციუმი, ბარიუმი) განსაზღვრისათვის.

ალიანი ფოტომეტრის პრინციპული სქემა. ემისიური ალიანი ფოტომეტრი შედგება სამი ძირითადი კვანძისაგან: საფრქვეველისა და სანთურასაგან, შუქფილტრისა ან მონოქრომატორისაგან და საზომი მოწყობილობისაგან. ხელსაწყოს პრინციპული სქემა მოცემულია 166-ე ნახაზზე.



ნახ.166. ემისიური ალიანი ფოტომეტრის სქემა: 1-საანალიზო ხსნარი; 2-საფრქვეველი; 3-სანთურა და ალი; 4-შუქფილტრი (ან მონოქრომატორი); 5- ფოტოელემენტი; 6-გალვანომეტრი.

საანალიზო ხსნარს 1 გადააქცევენ აეროზოლად საფრქვეველის 2 საშუალებით (მუშაობს შეკუმშული ჰაერის ან ყანგბადის მოქმედებით). აეროზოლი შეაქვთ ჰაერის ან ყანგბადის წყალბადთან (ზოგჯერ აცეტილენთან, პროპანთან, ბუტანთან) საწვავი ნარევის ალში 3. ალიანფოტომეტრული განსაზღვრების სიზუსტე და მგრძნობიარობა დამოკიდებულია ხსნარის გაფრქვევის ხარისხზე და სანთურას მუშაობაზე. შუქფილტრი (ან მონოქრომატორი) 4 გამოყოფს სპექტრიდან განსაზღვრულ სპექტრულ ხაზს, რომელიც გამოიყენება გაზომვებისათვის. ფოტოელემენტი 5 (ან ფოტომამრავლი), აგრეთვე გალვანომეტრი

ბ გამოიყენება სპექტრული ხაზის ინტენსიურობის გაზომვისათვის.

განსახილველ მეთოდში დიდი მნიშვნელობა აქვს ალის ტემპერატურას. ჰაერის პროპანთან ან ბუტანთან ნარევების წვისას ტემპერატურამ შეიძლება მიაღწიოს 1700-1900 °C და ამ დროს მოხდება მხოლოდ ტუტე ლითონების აგზნება. ტუტემიწა ლითონების განსაზღვრისათვის აუცილებელია ჰაერის ნარევი აცეტილენთან, რომელიც გვაძლევს 2300 °C. უნივერსალურად ითვლება ჟანგბადის წყალბადთან ნარევის ალი (2600°C) ან ჟანგბადის აცეტილენთან ნარევის ალი (3150°C).

ალიანი ფოტომეტრების ტიპები და მათზე მუშაობა. ლაბორატორიულ პრაქტიკაში გამოიყენება როგორც ალიანი ფოტომეტრები შუქფილტრებით, ისე სპექტროფოტომეტრები ალიანი ფოტომეტრიისათვის.

ალიანი ფოტომეტრები შუქფილტრებით გამოიყენება ძირითადად შედარებით მარტივი შედგენილობის ობიექტების ანალიზისათვის — ხსნარებში კალიუმის, ნატრიუმის, კალციუმის, ზოგჯერ ლითიუმის განსაზღვრისათვის. ძირითადად მუშაობენ საწვავი აირების ჰაერთან ნარევის დაბალტემპერატურული ალის პირობებში. ასეთი ფოტომეტრების საფრქვეველებს გააჩნია სპეციალური კამერები აეროზოლის იმ მსხვილი წვეთების შეკავებისათვის, რომლებიც ვერ ასწრებენ ალში აორთქლებას.

სპექტროფოტომეტრები ალიანი ფოტომეტრიისათვის უფრო მგრძნობიარეა და უზრუნველყოფენ გამოსხივების მაღალ მონოქრომატიზაციას. მათ აქვთ სპეციალური სანთურები საწვავი აირების ჟანგბადთან წვისათვის. საანალიზო ხსნარის შეფრქვევა ხდება უშუალოდ ალში. ლაბორატორიებში ფართოდაა გამოყენებული ასეთი ტიპის ხელსაწყო ПАЖ-1.

ППФ-УНИИЗ *ტიპის პორტატიული ალიანი ფოტომეტრი* განკუთვნილია ხსნარებში ნატრიუმის, კალციუმისა და კალიუმის განსაზღვრისათვის. კალიუმის ატომების გამოსხივებას იღებს ვერცხლის ფოტოელემენტი, ხოლო კალციუმისა და ნატრიუმის—სელენის ფოტოელემენტები.

განსაზღვრის შედეგებს ყველაზე უფრო ხშირად ეძებენ საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით. მის ასაგებად ფოტომეტრის ალში

შეაქვთ სტანდარტული განსასაზღვრავი ელემენტის ცნობილი რაოდენობის შემცველი ხსნარი. საკალიბრებელი მრუდის აბსცისათა ღერძზე გადადებენ განსასაზღვრავი ლითონის კონცენტრაციას (მგ/ლ), ორდინატთა ღერძის გასწვრივ—მიკროამპერმეტრის ჩვენებებს. სტანდარტული ხსნარებს ნატრიუმისა და კალციუმის განსაზღვრისათვის აშზადებენ კალიუმქლორიდის წყალხსნარზე.

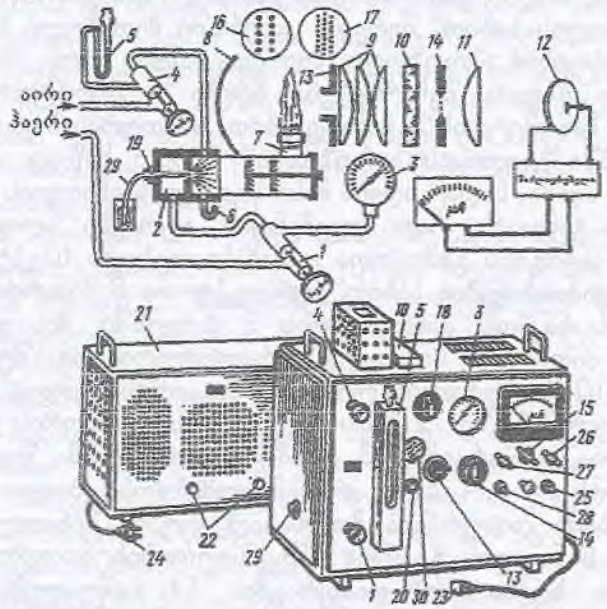
ცვეისის ალიანი ფოტომეტრი მუშაობს საწვავ აირებზე (აცეტილენი, სანათი აირი, პროპან-ბუტანი, ბენზინის ორთქლი) ჰაერთან ნარევში. ეს ხელსაწყო მუშაობს აგრეთვე ბუნებრივი აირის ქსელიდანაც. სანთურას გააჩნია ბადისებრი წყობურები სხვადასხვა აირების წვისათვის. ცვეისის ფოტომეტრს თან ახლავს ხუთი შუქფილტრი შუქგამტარობის შემდეგი მაქსიმუმებით (ნმ): კალიუმის განსაზღვრისათვის 769,9, ლითიუმისათვის — 678,8, კალციუმისათვის — 622, ნატრიუმისათვის — 589,9 მაგნიუმისათვის — 384.

ლაბორატორიული ალიანი ფოტომეტრი **ФПЛ-1** გამოიყენება ხსნარებში კალიუმის, ნატრიუმისა და კალციუმის განსაზღვრისათვის. სპექტრების აგზნებისათვის გამოიყენება პროპან-ბუტან-ჰაერის საწვავი ნარევის ალი. განსასაზღვრავი ელემენტების სპექტრული ხაზების გამოყოფა ხდება ინტერფერენციული შუქფილტრებით შუქშთანთქმის შემდეგი მაქსიმუმებით (ნმ): კალიუმისათვის—785; კალციუმისათვის— 622 და ნატრიუმისათვის—589. ხელშემშლელი გამოსხივების შთანთქმა ხდება ადსორბციული შუქფილტრებით. ერთი გაზომვის ხანგრძლიობაა 30 წმ. განსაზღვრის ქვედა საზღვრებია კალიუმისა და ნატრიუმისათვის 0,5 მკგ/მლ (ან $5 \cdot 10^{-5}$%), კალციუმისათვის 5 მკგ/მლ ($5 \cdot 10^{-4}$%).

სითხის ალიან-ფოტომეტრული ანალიზატორი **ПАЖ-1** განკუთვნილია ხსნარებში ლითიუმის, ნატრიუმის, კალიუმის და კალციუმის მიკრორაოდენობების განსაზღვრისათვის ალიანი სპექტროფოტომეტრიის მეთოდით.

ეს ხელსაწყო შედგება ალიან-სპექტროფოტომეტრული ანალიზატორისაგან, სპეციალური მემბრანული კომპრესორისაგან, აირის წნევის რეგულატორისაგან, რედუქტორისაგან, ბალონისაგან პროპან-ბუტანით და ძაბვის სტაბილიზატორისაგან. ხელსაწყოს აქვს რთული ოპტიკური სქემა, მუშაობს პროპან-ბუტანის ან ბუნებრივი აირის—ჰაერის ნარევებზე. ხსნარებში ლითონების შემცველობის განსაზღვრა ხდება სტანდარტული ხსნარებით აგებული საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით.

დეტალურად განვიხილოთ ПФМ ტიპის ალიანი ფოტომეტრი (ნახ.167). ის შედგება ფოტომეტრის და კვების ბლოკისაგან. პირველში განლაგებულია ხელსაწყოს ძირითადი კვანძები, მეორეში — კომპრესორი და გამმართველი. ფოტომეტრის ძირითადი კვანძებია სანთურა საფრქვეველით, ოპტიკური სისტემა შუქფილტრებით, ფოტოელემენტი ძაძლიერებლითა და მიკროამპერმეტრით. ფოტოელემენტის სპექტრული მგრძნობიაროობის არეა 360-850 ნმ.



ნახ.167. ПФМ ტიპის ალიანი ფოტომეტრი და მისი სქემა:
1-ჰაერის წნევის რეგულატორი; 2-სანთურას საფრქვეველი; 3-მანომეტრი ჰაერის წნევის რეგულირებისათვის; 4-აირის წნევის რეგულატორი; 5-წყლის მანომეტრი; 6-მილი კონდენსატის ჩამოსხმისათვის მიმღებში; 7-სანთურა; 8-რეფლექტორი; 9-კონდენსორი; 10-შუქფილტრი; 11-ლინზა; 12-ფოტოელემენტი; 13-მუდმივი დიაფრაგმა; 14-აირის-დიაფრაგმა; 15-ისრიანი მიკროამპერმეტრის მგრძნობიაროობის გადამრთველები; 16-სანთურას ხუფი მსხვილი ნახვრეტებით; 17-სანთურას ხუფი წვრილი ნახვრეტებით; 18-შუქფილტრების გადართვის სახელურო; 19-ხუფი; 20-ანთების ღილაკი; 21-კვების ბლოკი; 22-ძაბვის ელექტრონული სტაბილიზატორის სამაგრი ხრახნები; 23-ხელსაწყოს ელექტრული ზონარი; 24-შტეფსელის ჩანგალი ქსელში ხელსაწყოს ჩართვისათვის; 25-ხელსაწყოს ჩართვის ტუმბლერი; 26-სახელური მიკროამპერმეტრის ისრის ნულზე უხეში დაყენებისათვის; 27-სახელური მიკროამპერმეტრის ისრის ნულზე ზუსტი დაყენებისათვის; 28-კომპრესორის ჩართვის ტუმბლერი; 29-მილი სითხის შეწოვისათვის საფრქვეველში; 30-საჭვრეტელი

კვების ბლოკის კომპრესორიდან მუშაობისას შეკუმშული ჰაერი მიეწოდება წნევის რეგულატორს 1 და შემდეგ სანთურას 2 საფრქვეველში. საფრქვეველის კამერიდან ძე-

რევის კამერაში ძოხვედრისას ჰაერი იწვევს გაიშვიათებას კაპილარულ მილში, რის გამოც ხსნარი შეიწოვება მასში ჭიქიდან, ხოლო კაპილარიდან გამოსვლისას გამოიფრქვევა აეროზოლის სახით. შერევის კამერაში მიღებული ძალიან დისპერსიული აეროზოლი შეერევა საწვავ აირს, რომლის საჭირო წნევის შენარჩუნება ხდება რეგულატორით 4 წყლის მანომეტრის 5 გამოყენებით. სანთურას ხუფის ნახვრეტებში გავლისას აეროზოლის ნარევი საწვავ აირთან ერთად ხვდება ალში, სადაც ხდება მისი წვა. ალის ენერგიის ზეგავლენით განსასაზღვრავი ელემენტის ატომები აღიგზნება, ხდება ენერგიის გამოყოფა დამახასიათებელი სპექტრული ხაზის გამოსხივების სახით. რეფლექტორი 8 მიმართავს სინათლის ნაკადს კონდენსორის 9 ფოკუსში. მის გამოსავალზე მიღებული სინათლის პარალელური კონა შუქფილტრის 10 და შეშკრები ლინზის 11 გავლის შემდეგ ხვდება ფოტოელემენტზე 12. ალს და კონდენსორს შორის განლაგებულია დიაფრაგმა 13, რომლის სახელურმა შეიძლება დაიკავოს <<1>>, <<2>> ან <<3>> მდგომარეობა (ბოლო მდგომარეობაში დიაფრაგმა მთლიანად კეტავს სინათლის ნაკადს). სინათლის ნაკადის ინტენსიურობის მდოვრე რეგულირება ხდება ირის-დიაფრაგმის 14 საშუალებით (ამ უკანასკნელს აქვს სახელური სკალით 0-დან 100 დანაყოფამდე, რაც შეესაბამება დიაფრაგმის მაქსიმალურ გახსნას).

ფოტოელემენტში აღძრული ფოტოდენი მაძლიერებელში გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება ისრიან მიკროამპერმეტრს, რომელსაც გააჩნია მგრძნობიარობის გადამრთველი 15. გადამრთველის მდგომარეობებით <<1>>, <<2>>, <<3>> და <<4>> უზრუნველყოფილია ხელსაწყოს მგრძნობიაროზის გაზრდა შესაბამისად 1; 2; 10; 100-ჯერ. გადამრთველის მდგომარეობაში <<0>> გადართვისას მიკროამპერმეტრი გამოირთვება.

ხელსაწყოს თან ახლავს ოთხი შუქფილტრი, რომლებიც ჩაყენებულია დისკოში. თითოეული შუქფილტრის ბუდეზე აღნიშნულია მის მიერ განსასაზღვრავი ქიმიური ელემენტი. შუქფილტრების გადაადგილება ხდება სახელურით 18, რომელზეც აღნიშნულია მათი ნომრები. ამ შუქფილტრების შუქგამტაროზის მაქსიმუმია (ნმ): კალიუმის განსაზღვრისათვის 766; ლითიუმისათვის—671, კალციუმისათვის—620 და ნატრიუმისათვის—589.

პროპანისა და ბუნებრივი აირის გამოყენებისას სანთურას მილყელში ვათავსებთ ხუფს მსხვილი ნახვრეტებით 16, ხოლო აცეტილენის შემთხვევაში — წვრილი ნახვრეტებით 17. ანთების ღილაკზე 20 დაჭერისას მიკროამომრთველის საშუალებით შევკრავთ ელექტრულ წრედს და ნაპერწკალი ანთებს აირს სანთურაში (საჭიროების შემთხვევაში აირის ანთება დასაშვებია ხელით).

კვების ბლოკის 21 უკანა პანელზე განლაგებულია შტეფსელური გასართი, რომელსაც უნდა მივუერთოთ ფოტომეტრის შლანგი 23. მეორე შლანგი (ელექტრული ზონარი) შტეფსელური ჩანგლით საჭიროა ალიანი ფოტომეტრის ელექტრულ ქსელში ჩასართავად.

ლაბორატორიაში ხელსაწყოს — ფოტომეტრს ათავსებენ ერთ მაგიდაზე, ხოლო კვების ბლოკს — მეორეზე. ბალონი აირით 9—10 მეტრით უნდა დავაცილოთ ხელსაწყოსაგან. პირველი რედუქტორი ხისტადაა მიერთებული აირის ბალონთან. ის ამცირებს ბალონიდან გამოსული აირის წნევას 200-300 კპა-მდე. (2-3 ატმ), ხოლო მეორე —10-20-კპა-მდე (0,1-0,2 ატმ). ქსელიდან ბუნებრივი აირის გამოყენებისას მუშაობენ რედუქტორის გარეშე.

ПФМ *ტიპის ალიანი ფოტომეტრის მომზადება მუშაობისათვის.* ხელსაწყოს მუშაობისათვის მომზადებისას უნდა დავიცვათ ოპერაციების გარკვეული მიმდევრობა.

უპირველეს ყოვლისა უნდა დავრწმუნდეთ აირისა და ჰაერის მიწოდებისათვის განკუთვნილი შლანგების წესივრულობაში (განსაკუთრებით შტუცერებთან მათი შეერთების ადგილებში). სანთურას მილყელში უნდა ჩავსვათ შერჩეული აირის შესაბამისი ხუფი. წყლის მანომეტრში უნდა ჩავასხათ სითხე ნულოვან ნიშნულამდე. აუცილებლად უნდა შევამოწმოთ სითხის არსებობა მილში 6 (სითხის გარეშე შესაძლოა ალის გახტომა სანთურიდან საფრქვეველში). კვების ბლოკის შტეფსელური ჩანგალი ჩავრთოთ ქსელში და დავამიწოთ. ტუმბლერით 25 ჩავრთოთ ხელსაწყო და გავახუროთ 30 წუთის განმავლობაში. სახელურის 13 მდგომარეობაში <<3>> გადაყვანით გადაფარავენ ხელსაწყოს

კონდენსორს. შემდეგ სახელურის 15 მდგომარეობაში <<1>> გადაყვანით აყენებენ მიკრომპერმეტრის მინიმალურ მგრძნობიარობას, რის შემდეგაც სახელურებით 26 და 27 მიკრომპერმეტრის ისარს აყენებენ ნულოვან დანაყოფზე. ტუმბლერით 28 ჩავრთოთ კომპრესორი, ხოლო რეგულატორით 1 (მანომეტრის 3 დახმარებით) აყენებენ ჰაერის წნევას 30-40 კპა (0,3-0,4 ატმოსფერო). მილი 29 ჩავდოთ წყლიან ჭიქაში და დავრწმუნდეთ, რომ საფრქვეველი შეიწოვს სითხეს. დავაჭიროთ ღილაკს 20 და საჭვრეტელში 30 დავრწმუნდეთ ხელსაწყოს ანთების სისტემის წესივრულობაში.

იმისათვის, რომ მივაწოდოთ აირი ბალონიდან ფოტომეტრში უნდა გავხსნათ ვენტილი პირველ რედუქტორზე ისეთნაირად, რომ მეორე რედუქტორის მანომეტრმა გვიჩვენოს 200 კპა (~2 ატმ) წნევა. ამის შემდეგ მეორე რედუქტორის ვენტილით აირის რეგულატორის 4 ოდნავ გაბსნით დავაყენოთ წნევა წყლის მანომეტრის მიხედვით: აცეტილენის შემთხვევაში 100-180 მმ ვწყ.სვ., ხოლო პროპანისა ან ბუნებრივი აირის შემთხვევაში 15-80 მმ ვწყ.სვ.. დავაჭიროთ ანთების ღილაკს 20, ვიდრე აირი სანთურაში არ აალდება. აირისა და ჰაერის შესაბამისი ვენტილებით მივაღწიოთ იმას, რომ ალს სანთურაში ხუფის ნახვრეტთან ჰქონდეს ცისფერი ნათება ციმციმის გარეშე. სახელურით 18 მუშა მდგომარეობაში მოვიყვანოთ საჭირო შუქფილტრი. მუდმივი დიაფრაგმა 13 გადავიყვანოთ მდგომარეობაში <<1>>, ხოლო ირის-დიაფრაგმა — მდგომარეობაში <<50-60>> (ე.ი.ვხსნით, მაგრამ არა მთლიანად). ასეთ მდგომარეობაში ალიანი ფოტომეტრი მზადაა მუშაობისათვის.

საკალიბრებელი მრუდის აგება. მოვამზადოთ სტანდარტული ხსნარების სერია განსასაზღვრავი ელემენტის მზარდი ზუსტად ცნობილი კონცენტრაციებით (უნდა მოიცავდეს საანალიზო ნიმუშებში შესაძლო კონცენტრაციებს).

ხელსაწყოს ჭიქაში ჩავასხათ მომზადებული სერიის ყველაზე უფრო კონცენტრირებული სტანდარტული ხსნარი, ჩავძიროთ მასში მილი 29 და მივაწოდოთ იმას, რომ მიკრომპერმეტრის ისარი გადაიხაროს 40-50 დანაყოფით

(ამის მიღწევა შესაძლოა დიაფრაგმის ნახვრეტის გადიდებით ან მიკრომპერმეტრის მგრძნობიარობის ამაღლებით). შემდეგ საფრქვეველის საშუალებით ალში შეაქვთ გამოხდილი წყალი და უხეშში და ზუსტი რეგულირების სახელურებით (26 და 27 შესაბამისად) მიკრომპერმეტრის ისარს ზუსტად აყენებენ ნულზე.

სტანდარტულ ხსნარებს აწვდიან ალიანი ფოტომეტრის საფრქვეველში განსასაზღვრავი ელემენტის კონცენტრაციის ზრდის მიხედვით, შემდეგ კი პირიქით კლების მიხედვით. საკალიბრებელი მრუდი ავაგოთ აბსცისათა ღერძზე განსასაზღვრავი ელემენტის კონცენტრაციის (მკგ/მლ), ხოლო ორდინატთა ღერძზე—მიკრომპერმეტრის ჩვენების გათვალისწინებით.

შემდეგ გავზომოთ საანალიზო სინჯი და საკალიბრებელი მრუდით მოვძებნოთ საძიებელი ელემენტის შემცველობა. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მივაქციოთ იმას, რომ გაზომვის პროცესში ჰაერისა და აირის წნევა ფოტომეტრში იყოს ისეთივე, როგორც საკალიბრებელი მრუდის აგებისას.

გაზომვის დამთავრებისას საფრქვეველში გამოხდილი წყლის მიწოდებით გამოვრეცხოთ სანთურა. ჩავკეტოთ ვენტილი აირის ბალონზე, რედუქტორზე (ამით შეწყდება აირის მიწოდება). ფოტომეტრის სანთურას გამოხდილი წყლით 5-10 წუთის განმავლობაში გამოვრეცხვის შემდეგ ტუმბლერით 28 გამოვრთოთ კომპრესორი, ხოლო ტუმბლერით 25 ხელსაწყოს კვება.

*ალიანი **ПФМ** ტიპის ფოტომეტრით ხსნარში ნატრიუმის შემცველობის განსაზღვრის მეთოდიკა საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით: საწყისი ხსნარი* მოვამზადოთ შემდეგნაირად. ქიმიურად სუფთა $NaCl$ გავაშროთ მუდმივ მასამდე 110 ^0C პირობებში. ნატრიუმის იონის Na^+ 1 მგ/სმ^3 შემცველობის ხსნარის მისაღებად უნდა ავიღოთ 0,100 გ Na^+. გადათვლის კოეფიციენტი $K=M_{NaCl}/M_{Na^+}=2,542$. მაშასადამე $q=0,1\cdot2,542=0,2542$ გ $NaCl$. ნივთიერების წონაკი ჯერ უნდა ავწონოთ სააფთიაქო სასწორზე, შემდეგ კი ანალიზურ სასწორზე, რომ ის ზუსტად შეესაბამებოდეს 0,2542 გრამს $NaCl$ -ისათვის. წონაკი გადავიტანოთ 100 სმ^3 ტევადობის საზომ კოლბაში, გავხსნათ წყლის მცირე მოცულობაში, დავიყვანოთ ჭდემდე გამოხდილი წყლით და ავურიოთ.

სტანდარტული ხსნარები მოვამზადოთ საწყისი ხსნარიდან. ამისათვის ხუთ 100 სმ^3 ტევადობის საზომ კოლბაში ბიურეტიდან მოვზო-

მოთ საწყისი ხსნარის 5, 10, 15, 20 და 25 სმ³, დაუმატოთ გამოხდილი წყალი ჭდემდე და კარგად ავურიოთ. ელემენტის კონცენტრაცია სტანდარტულ ხსნარებში ტოლი იქნება შესაბამისად 50,100,150, 200 და 250 მკგ/სმ³. საანალიზო ხსნარი უნდა მოვათავსოთ 100 სმ³ ტევადობის საზომ კოლბაში და დავიცვათ ხსნარების მომზადების ყველა წესი.

ყველაზე დიდი კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარის მიხედვით წინასწარ დავაყენოთ ხელსაწყოს მგრძნობიარობა (გაზომვის დიაპაზონი). სტანდარტული ხსნარების ფოტომეტრირება დავიწყოთ მცირე კონცენტრაციის ხსნარიდან და ყველაზე დიდი კონცენტრაციის ხსნარის გაზომვის შემდეგ მაშინვე მოვახდინოთ საანალიზო ხსნარის ფოტომეტრირება. C (მკგ/სმ³)— I(მკა) კოორდინატებში ავაგოთ საგრადუირებელი მრუდი და მისი საშუალებით განვსაზღვროთ ნატრიუმის შემცველობა საანალიზო ხსნარში.

ხსნარში საანალიზო ნივთიერების რაოდენობითი განსაზღვრა საკალიბრებელი მრუდის გარდა შეგვიძლია ჩავატაროთ შედარების (შემზღუდველი ხსნარების) მეთოდით, დამატებების მეთოდითა და გრაფიკული ხერხით.

შედარების ხერხით ხსნარში ნატრიუმის ალიან-ფოტომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა: მოვამზადოთ ორი სტანდარტული ხსნარი Na^+ მცირე C_1 კონცენტრაციით (მაგალითად, 15 მკგ/სმ³) და დიდი C_2 კონცენტრაციით (მაგალითად, 30 მკგ/სმ³). საანალიზო ხსნარის კონცენტრაცია Cx უნდა იმყოფებოდეს ამ ზღვრულ კონცენტრაციებს შორის ($C_1<C_x<C_2$). ეტალონური და გამოსაკვლევი ხსნარები ჩავასხათ ჭიქებში.

ვიდრე შევუდგებოდეთ ამ ხსნარების ფოტომეტრირებას ჩავატაროთ „უქმი" ცდა. ამისათვის დავაყენოთ ნატრიუმის შესაბამისი შუქფილტრი, გავაფრქვიოთ მხოლოდ გამწნელი (გამოხდილი წყალი) და თუ ხელსაწყოს ისარი გადაიხრება (წყალში ნატრიუმის არსებობის გამო), კორექტორით დავაბრუნოთ ის ნულოვან დანაყოფზე. ამის შემდეგ განვსაზღვროთ მიკროამპერმეტრის ეტალონური ხსნარების შესაბამისი ჩვენებები I_1, I_2 და საანალიზო ხსნარის შესაბამისი ჩვენება Ix.

Na^+ შემცველობა განისაზღვრება ფორმულით

$$C_x = C_1 + \frac{(C_2-C_1)(I_x-I_1)}{(I_2-I_1)} \qquad (51)$$

დავუშვათ, ალიან ფოტომეტრზე მივიღეთ შემდეგი მონაცემები:

C_{Na^+}, მკგ/სმ³	...	15	30	x
I, მკა	...	42,5	70,5	52

მაშინ (51)-ის თანახმად

$$C_{Na^+} = 15 + \frac{(30-15)(52-42,5)}{(70,5-42,5)} = 20,1 \text{ მკგ/სმ}^3 .$$

2.2.2.6. ლუმინესცენციური ანალიზი

ლუმინესცენციური ანალიზი სხვადასხვა ობიექტების, მათ შორის ნივთიერებების, გამოკვლევის მეთოდია, რომელიც დაფუძნებულია მათი ლუმინესცენციის (ნათების) დაკვირვებაზე. ლუმინესცენციური ანალიზისას აკვირდებიან ან გამოსაკვლევი ობიექტის საკუთარ ნათებას, ან სპეციალური ლუმინოფორების ნათებას, რომლებითაც ამუშავებენ გამოსაკვლევ ობიექტს.

ლუმინესცენციურ ანალიზში გამოყენებული აპარატურა შეიცავს ლუმინესცენციის აღმძვრელ წყაროს და მარეგისტრირებელ მოწყობილობას. სინათლის გამოსხივებისათვის საჭირო ენერგია ნივთიერების ატომებმა შეიძლება მიიღონ ნივთიერებაზე ვარდნილი სინათლის შთანთქმის ხარჯზე (ფოტოლუმინესცენცია), ელექტრონებით მყარი სხეულების დაბომბვის ხარჯზე (კათოდოლუმინესცენცია), ზოგიერთი ქიმიური რეაქციის დროს გამოყოფილი ენერგიის ნაწილის სინათლის ენერგიაში უშუალო გარდაქმნის ხარჯზე (ქემილუმინესცენცია) და სხვ.

ყველაზე უფრო ხშირად იყენებენ ფოტოლუმინესცენციას. ფოტოაგზნებას აღწევენ კვარცის ვერცხლისწყლის ნათურით და შუქფილტრებით მათი სპექტრიდან ამოჭრიან ულტრაიისფერ ნაწილს. ფოტოლუმინესცენციის დროს გამოსხივებულ სინათლეს, როგორც წესი, აქვს უფრო მეტი სიგრძის ტალღა, ვიდრე ნათების გამომწვევ სინათლეს (ორგანული საღებარის ფრუორესცეინის შემცველი ხსნარის დასხივებისას სითხე იწყებს მწვანე-ყვითელი ფერით ნათებას, ე.ი. ტალღის უფრო მეტი სიგრძის სინათლით, ვიდრე აქვს იისფერ სინათლეს). ვერცხლისწყლის ნათურების გარ-

და ლუმინესცენციურ ანალიზში გამოიყენება ქსენონის ნათურები, ნაპერწკლები ჰაერში, ლაზერები. ლუმინესცენციის რეგისტრაცია ხდება ვიზუალურად ან ფოტოელექტრონული ხელსაწყოების საშუალებით, რაც ზრდის ლუმინესცენციური ანალიზის სიზუსტეს.

რაოდენობითი და თვისებითი ლუმინესცენციური ანალიზის დროს ყველაზე ხშირად რეგისტრირდება ნივთიერებათა თავისთავადი ნათება. რაოდენობითი ლუმინესცენციური ანალიზით ლუმინესცენციის სინათლის ინტენსიურობის მიხედვით საზღვრავენ მალუმინესცირებელი ნივთიერების კონცენტრაციას (10^{-4} -10^{-5} გ/სმ^3-ზე ნაკლები კონცენტრაციები). რაოდენობითი ლუმინესცენციური ანალიზის მგრძნობიარობა ძალიან მალალია და ზოგიერთი ორგანული ნივთიერების განსაზღვრისას აღწევს რამდენიმე ერთეულს 10^{-10} გ/სმ^3-ზე. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ლუმინესცენციური ანალიზი ნივთიერებათა სისუფთავის კონტროლისათვის. აირიანი ლაზერის სხივით შესაძლო გახდა ცალკეული იზოტოპის ლუმინესცენციის აგზნება და, ამრიგად, იზოტოპური ლუმინესცენციური ანალიზის ჩატარება.

თვისებითი ლუმინესცენციური ანალიზი საშუალებას გვაძლევს აღმოვაჩინოთ ზოგიერთი ნივთიერება ნარევებში. ამ შემთხვევაში სპექტროფოტომეტრების გამოყენებით სწავლობენ ენერგიის განაწილებას ნივთიერებათა ლუმინესცენციის სპექტრში დაბალი ტემპერატურების პირობებში და ბლანტ ხსნარებში (ზეთებში). არამალუმინესცირებელი ნივთიერება შესაძლოა აღმოვაჩინოთ სპეციალურად დამატებულ ნივთიერებებთან მათი ურთიერთქმედების პროდუქტების ლუმინესცენციის მიხედვით. ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის, მაგალითად, იშვიათ მიწათა ელემენტების ძიებისას ქანების ნიმუშებს ამუშავებენ სპეციალური ნაერთებით, რომლებიც ქმნიან საძიებელ ნივთიერებებთან მალუმინესცირებელ კომპლექსებს.

გამოსხივების ხანგრძლივობის მიხედვით არჩევენ ფლუორესცენციას და ფოსფორესცენციას. ფლუორესცენცია ლუმინესცენციაა, რომელიც სწრაფად მილევადია დროის ($\tau \sim 10^{-8}$-10^{-9} წმ) განმავლობაში. ფოსფორესცენცია ხანგრძლივი ლუმინესცენციაა. ლუმინესცენციის დაყოფა ფლუოროსცენციად და ფოსფორესცენციად ამჟამად მოძველებულია, პირობითია. მაგრამ ჩამოყალიბდა მიმართულება — *ფლუოროომეტრია*.

ფლუოროომეტრია დაფუძნებულია ნივთიერებათა ფლუორესცენციის ინტენსიურობის გაზომვაზე. ფლუორესცენციის ინტენსიურობა დამოკიდებულია ნივთიერების კონცენტრაციაზე. ფლუოროომეტრული გაზომვებისათვის გამოიყენება ნივთიერება კონცენტრაციებით 10^{-4}-10^{-6} გ/სმ^3. ამ ფარგლებში ფლუორესცენციის ინტენსიურობის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე წრფივია. ფლუოროომეტრიაში რაოდენობითი გაზომვები დაფუძნებულია ნივთიერებათა სტანდარტული ხსნარების გამოყენებაზე (შედარების ან საკალიბრებელი მრუდის ხერხი). თუ შედარების ხსნარის სახით გამოიყენება ნივთიერების სტანდარტული ხსნარი, მაშინ გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია (C_x) გამოითვლება ფორმულით

$$C_x = \frac{(n_1 - n_2) C_{ст}}{n_{ст} - n_2}, \qquad (52)$$

სადაც n_1 ფლუოროომეტრის ჩვენებაა გამოსაკვლევი ხსნარისათვის;

$n_{ст}$ — ჩვენება სტანდარტული ხსნარისათვის;

n_2 — ჩვენება საკონტროლო ხსნარისათვის;

$C_{ст}$ —სტანდარტული ხსნარის კონცენტრაცია.

მაგალითი. რიბოფლავინის ხსნარის ექსპერტიზის დროს ფლუოროომეტრის ჩვენებაა 0,38, ხოლო საკონტროლო ხსნარის შემთხვევაში — 0,06. როგორია რიბოფლავინის ხსნარის კონცენტრაცია, თუ რიბოფლავინის 1 მკგ/სმ^3 შემცველობის სტანდარტული ხსნარის ფლუოროომეტრირების დროს ფლუოროომეტრის ჩვენებამ შეადგინა 0,68, ხოლო საკონტროლო ხსნარის შემთხვევაში —0,04?

ამოხსნა: რიბოფლავინის ხსნარის კონცენტრაცია გამოვითვალოთ ფორმულით

$$C_x = \frac{(0{,}38 - 0{,}06) \cdot 1}{0{,}68 - 0{,}04} = 0{,}5 \text{ მკგ/სმ}^3 .$$

თიამინის შემცველობის ფლუორომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა:

სტანდარტული ხსნარის მომზადება. ავწონოთ 100 °C-ის პირობებში გამომშრალი თიამინქლორიდის 25 მგ წონაკი, მოვათავსოთ 250 სმ³ ტევადობის საზომ კოლბაში და გავხსნათ 25%-იან სპირტში კონცენტრირებული *HCl*-ის 2-3 წვეთის დამატებით. ხსნარი მდგრადია ერთი თვის განმავლობაში. ავიღოთ მიღებული ხსნარის 1 სმ³, გავხსნათ ზავოთ გამოხდილი წყლით 100 სმ³ ტევადობის საზომ კოლბაში და გამოვიყენოთ სტანდარტული ხსნარის სახით. ეს ხსნარი გამოსადეგია ერთი დღის განმავლობაში.

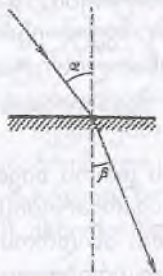
რეაქტივების მომზადება. მჟანგავ ნარევს მოვამზადებთ $K_3[Fe(CN)_6]$-ის 10 მგ-ის გახსნით წყლის 1 სმ³-ში. მიღებული ხსნარი გავაზავოთ *NaOH*-ის 15%-იანი ხსნარით 25 სმ³-მდე. დაუშვებელია ექსტრაგენტების — იზობუტილის, იზოამილის და ბუტილის სპირტების ფლუორესცირება. ფლუორესცენციის შემთხვევაში სპირტს უნდა დავუმატოთ აქტივირებული ნახშირი (20,0 გ 1 დმ³-ში), დავაყოვნოთ ერთი დღე-ღამე და გამოვხადოთ.

სამუშაოს შესრულება. ექსპერტიზაზე წარმოდგენილი თიამინქლორიდის აბები გავსრისოთ, გადავაქციოთ ფხვნილად და ავიღოთ ფხვნილის წონაკი, რომელიც შეიცავს თიამინქლორიდის 10 მგ-ს. წონაკიდან 100 სმ³ ტევადობის საზომ კოლბაში მოვამზადოთ თიამინის წყალხსნარი (ხსნარი I). ამ ხსნარის ფილტრატის 1 სმ³ განვაზავოთ 100 სმ³-მდე საზომ კოლბაში. მივიღებთ ხსნარს II. სამ გამყოფ ძაბრში შევიტანოთ მეორე ხსნარის თითო კუბური სანტიმეტრი, შემდეგ პირველ და მეორე ძაბრში დავამატოთ დამჟანგავი ნარევის სამ-სამი კუბური სანტიმეტრი, ხოლო მესამეში *NaOH*-ის 15%-იანი საკონტროლო ხსნარის 3 სმ³. სამი ძაბრის შემცველობას დავუმატოთ იზობუტილის (იზოამილის ან ბუტილის) სპირტის 10 სმ³, შევანჯღრიოთ 2 წუთის განმავლობაში და დაწდომის შემდეგ გამოვყოთ წყლის ფენა. ძაბრებში სპირტის შრეში შევიტანოთ 5-5-გ უწყლო Na_2SO_4 და 5 წუთის შემდეგ გამოვყოთ სპირტის ექსტრაქტები მშრალ კოლბებში. ანალოგიურად დავამუშაოთ თიამინქლორიდის სტანდარტული ხსნარის ორი პორცია, თითო 1 სმ³ ტევადობისა. ერთი მათგანი იქნება სტანდარტული ხსნარი, მეორე — საკონტროლო სინჯი. მიღებული გამოსაკვლევი, სტანდარტული და საკონტროლო ხსნარების ფლუორომეტრირების შემდეგ (52) ფორმულით განვსაზღვროთ თიამინის შემცველობა (გრამებში და პროცენტებში).

2.2.2.7. რეფრაქტომეტრული ანალიზი

რეფრაქტომეტრია ანალიზის მეთოდია, რომელიც დაფუძნებულია გამოსაკვლევ ნივთიერებაში სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებლის გაზომვაზე.

მეთოდს საფუძვლად უდევს *რეფრაქციის* მოვლენა, ე.ი. სინათლის სხივის გარდატეხა ბუნებით განსხვავებული ორი ოპტიკური გარემოს საზღვარზე (ნახ.168).



ნახ.168. სინათლის სხივის გარდატეხა ორი გამჭვირვალე გარემოს საზღვარზე

სინათლის სხივის ვარდნის კუთხის სინუსის (sin α) შეფარდებას მისი გარდატეხის კუთხის სინუსთან (sin β) უწოდებენ *გარდატეხის მაჩვენებელს* n:

$$n = \sin\alpha / \sin\beta . \qquad (53)$$

ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებელს განსაზღვრავენ ჰაერის მიმართ, ე.ი. სინათლის ვარდნისას გარდამტეხ გარემოზე ჰაერიდან (n-ის მნიშვნელობა, რომელიც მოძებნილია სიცარიელის მიმართ, ცნობილია როგორც გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი).

გარდატეხის მაჩვენებელი დამოკიდებულია:

- ნივთიერების ბუნებაზე;
- ვარდნილი სინათლის ტალღის სიგრძეზე.

თეთრი სინათლის შემადგენლობაში შემავალი ცალკეული სინათლის სხივის (სპექტრული ხაზის) გარდატეხა ხდება სხვადასხვანაირად: ტალღის სიგრძის გაზრდისას n-ის სიდიდე მცირდება (ცხრილი 18)

ცხრილი 18

წყლის გარდატეხის მაჩვენებლის დამოკიდებულება სინათლის ტალღის სიგრძეზე

ტალღის სიგრძე, ნმ	ხაზის ფერი	სპექტრული ხაზის პირობითი აღნიშვნა	გარდატეხის მაჩვენებელი n 20 °C-ის პირობებში
486,1	ცისფერი	F	1,3371
589,3	ყვითელი	D	1,3330
656,3	წითელი	C	1,3311

ამის გამო ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებელს განსაზღვრავენ მონოქრომატულ სინათლეზე. ტალღის განსაზღვრული სიგრძის გამოსხივებას გვაძლევს ნატრიუმის, ვერცხლისწყლის ან წყალბადის ნათურები. გარდატეხის მოძებნილი მაჩვენებლის აღნიშვნაში ჩვეულებრივ შეაქვთ ინდექსი, რომელიც გვიჩვენებს სინათლის ტალღის რა სიგრძის დროს ჩატარდება გაზომვა, მაგალითად n_F, n_D, ან n_C.

ექსპეტრიზისა და კონტროლის დროს ნივთიერებათა გარდატეხის მაჩვენებლებს ზომავენ ვარვარების ნათურის შუქზე ან დღის განათების პირობებში. ამ დროს გამოყენებულ ხელსაწყოებს გააჩნიათ განსაკუთრებული სამარჯვი, რომელიც აკომპენსირებს პრიზმის ძირ თეთრი სინათლის დაშლას (დისპერსიას) და აგზავნის სინათლის ნაკადს ყვითელი სხივის მიმართულებით. ნივთიერების ასეთნაირად მოძებნილი გარდატეხის მაჩვენებელი თითქმის ემთხვევა მონოქრომატული ყვითელი სინათლის გამოყენებით გაზომილ მაჩვენებელს;

- ტემპერატურაზე: ტემპერატურის მომატებისას გარდატეხის მაჩვენებელი მცირდება (ცხრილი 19), ვინაიდან ამ დროს მცირდება ნივთიერების სიმკვრივე; ამიტომ გარდატეხის მაჩვენებლის აღნიშვნაში ინდექსის გარდა შეცხრილი 19

გამოხდილი წყლის გარდატეხის მაჩვენებლის ცვლილება ტემპერატურის შეცვლისას

t ,°C	გარდატეხის მაჩვენებელი	t ,°C	გარდატეხის მაჩვენებელი
15	1,3340	20	1,3330
16	1,3333	21	1,3329
17	1,3332	22	1,3328
18	1,3332	23	1,3327
19	1,3331	24	1,3326

მოაქვთ გაზომვის მომენტის შესაბამისი ტემპერატურის მნიშვნელობაც, მაგალითად n_D^{20};

- ხსნარის სიმკვრივეზე, მაგრამ ვინაიდან ხსნარის სიმკვრივე დამოკიდებულია მის კონცენტრაციაზე, ამიტომ ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელიც დამოკიდებულია აგრეთვე კონცენტრაციაზე.

ყოველ ინდივიდუალურ ნივთიერებას ახასიათებს გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრული მნიშვნელობა. უკვე აღინიშნა, რომ გარდატეხის მაჩვენებელი დამოკიდებულია აგრეთვე ხსნარის კონცენტრაციაზე. მაშასადამე, ერთი და იმავე ნივთიერებისათვის ერთნაირ ტემპერატურაზე გარდატეხის მაჩვენებელი დამოკიდებული იქნება აბოლოდ კონცენტრაციაზე. თუ გვეცოდინება გარდატეხის მაჩვენებელი, შევძლებთ ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრას საკალიბრებელი მრუდის ან გარდატეხის მაჩვენებლის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების ცხრილების (ცხრილი 20) მიხედვით.

ცხრილი 20

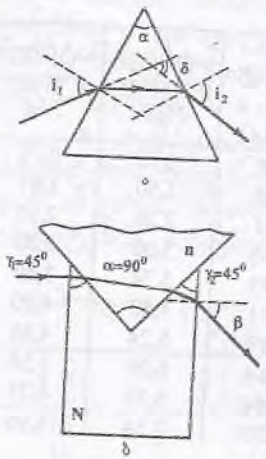
ზოგიერთი ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებლები

გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია მასობრივ-მოცულობით პროცენტებში, გ/100 მლ					
	ამონიუმ-ქლორიდი NH_4Cl	კალიუმ-იოდიდი KI	კალციუმ-ქლორიდი $CaCl_2 \times 6H_2O$	კუპრი - სულფატი $CuSO_4 \times 5H_2O$	ნატრიუმ-ბრომიდი $NaBr$	ნატრიუმ-იოდიდი NaI
1,3340	0,50	0,75	0,85	0,91	0,75	0,71
1,3350	1,00	1,53	1,71	1,68	1,50	1,41
1,3360	1,50	2,30	1,56	2,61	2,26	2,10
1,3370	2,00	3,05	3,42	3,51	3,00	2,80
1,3380	2,50	3,80	4,28	4,39	3,74	3,49
1,3390	3,00	4,58	5,15	5,31	4,50	4,20
1,3400	3,50	5,35	6,00	6,19	5,24	4,88
1,3410	4,00	6,10	6,90	7,14	6,00	5,58
1,3420	4,50	6,85	7,79	8,04	6,76	6,27
1,3430	5,00	7,60	8,65	8,89	7,54	6,96

რეფრაქტომეტრიის მეთოდებში განასხვავებენ: 1) ორი გარემოს გამყოფი საზღვრის გავლისას სინათლის გარდატეხის კუთხეების პირდაპირი გაზომვის მეთოდებს; 2) მეთოდებს, რომლებშიც გამოიყენება სინათლის სრული შინაგანი არეკვლის მოვლენა; 3) ინტერფერენციულ მეთოდებს; 4) ფოტომეტრულ მეთოდებს, რომლებშიც გამოიყენება ორი გარემოს საზღვარზე არეკვლის კოეფიციენტის (გატარების კოეფიციენტის) დამოკიდებულება მათი გარდატეხის

მაჩვენებლების თანაფარდობაზე; 5) სხვა მეთოდებს (ლინზის ფოკუსური მანძილისა და მისი ზედაპირების სიმრუდის გაზომვა ლინზის მასალის გარდატეხის მაჩვენებლის დასადგენად, გამოსაკვლევი მასალისაგან დამზადებული ბრტყელპარალელური ფირფიტით სხივის განივი წანაცვლება, იმერსიული მეთოდი და სხვ.). რეფრაქტომეტრიის ამ მეთოდებიდან შედარებით ფართოდ გამოიყენება პირველი სამი ჯგუფი.

პირველი ჯგუფის მეთოდებით გაზომვისათვის ნიმუშს აძლევენ პრიზმის ფორმას გარდამტეხი α კუთხით. გარდატეხის n მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის პრიზმას შემოაბრუნებენ ისეთნაირად, რომ სხივის გადახრის კუთხე δ (ნახ.169,ა) იყოს მინიმალური. გადახრის კუთხეს δ აქვს ყველაზე მცირე მნიშვნელობა პრიზმაში სხივის შესვლისა და პრიზმიდან გამოსვლის კუთხეების ტოლობისას, ე.ი. $i_1 = i_2$ შემთხვევაში (სხივის ე.წ. სიმეტრიული სვლა პრიზმაში). გარდატეხის მაჩვენებელი განისაზღვრება ფორმულით



ნახ.169

$$n=\sin\left(\frac{\alpha+\delta}{2}\right)\Big/\sin\frac{\alpha}{2}\ . \qquad (54)$$

ამ ჯგუფის მეორე მეთოდში გამოსაკვლევ ნიმუშს (გამოსაკვლევი ნივთიერებისაგან დამზადებული პრიზმა გარდატეხის n მაჩვენებლით და $\alpha=90^0$ გარდამტეხი კუთხით) ათავსებენ ცნობილი გარდატეხის N მაჩვენებლისა და $\gamma_1=\gamma_2=45^0$ კუთხეების მქონე სპეციალურად დამზადებული პრიზმის ამონაღებში (ნახ.169,ბ). სითხეების გარდატეხის მაჩვენებლების გაზომვისათვის პრიზმატულ ნიმუშებს ამზადებენ ღრუს და ავსებენ გამოსაკვლევი სითხით. სხივის β გამოსვლის კუთხის გაზომვით საზღვრავენ გარდატეხის მაჩვენებელს შემდეგი თანაფარდობის მიხედვით

$$n=\sqrt{N^2+\sin\beta\sqrt{N^2-\sin^2\beta}}\ . \qquad (55)$$

ხსნარში საძიებელი კომპონენტის კონცენტრაციის გაზომვისას ზუსტად ცნობილი Ci კონცენტრაციის რამდენიმე ხსნარის მიხედვით საზღვრავენ სხივის გამოსვლის β_i კუთხეებს, ითვლიან გარდატეხის სათანადო n_i მაჩვენებლებს და აგებენ საგრადუირებელ მრუდს $n=f(C)$. შემდეგ საძიებელი Cx კონცენტრაციის ხსნარისათვის ზომავენ სხივის გამოსვლის β_x კუთხეს, ითვლიან შესაბამის n_x მნიშვნელობას და წინასწარ აგებული საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით განსაზღვრავენ Cx კონცენტრაციას.

ამ მეთოდით გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრის სიზუსტეა $\sim10^{-5}$, ხოლო ორი ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებლების სხვაობისა $\sim10^{-7}$.

რეფრაქტომეტრიის მეორე ჯგუფის მეთოდები დაფუძნებულია სრული შინაგანი არეკვლის მოვლენაზე.

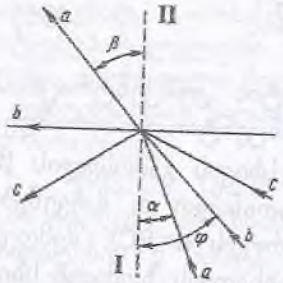
სინათლის სხივის ვარდნისას n_1 გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე გარემოდან n_2 გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე გარემოში ($n_1>n_2$), გარდატეხის კანონის თანახმად ვარდნის α კუთხესა და გარდატეხის β კუთხეს შორის არსებობს დამოკიდებულება:

$$n_1\sin\beta = n_2\sin\alpha = \text{const}\ . \qquad (56)$$

სინათლის ვარდნის კუთხის გაზრდისას თანდათანობით იზრდება გარდატეხის კუთხეც და გარკვეულ მომენტში გარდატეხის კუთხე ტოლი გახდება 90^0-ისა. მაშინ სინათლის სხივი აღარ მოხვდება მეორე გარემოში, არამედ მისრიალებს გარემოს გაყოფის ზედაპირზე (ნახ.170). ვარდნის კუთხის შემდგომი გაზრდისას გარდატეხას საერთოდ აღარ ექნება ადგილი და სხივი მთლიანად აირეკლება. ამ მოვლენას ეწოდება სრული შინაგანი არეკვლა.

90^0-იან გარდატეხის კუთხეს ეწოდება გარდატეხის ზღვრული კუთხე, ხოლო ვარდნის კუთხეს, რომლის დრო-

საც ძიებულია გარდატეხის ზღვრული კუთხე, ეწოდება ვარდნის ზღვრული კუთხე. ის აღინიშნება φ ასოთი.



ნახ.170. სინათლის სრული შინაგანი არეკვლა: a სინათლის სხივია, რომლის ვარდნის კუთხეა α და გარდატეხის —β; b – ზღვრული კუთხით ვარდნილი სინათლის სხივი, რომლის გარდატეხის კუთხე 90°-ის ტოლია; c — სხივი, რომლის ვარდნის კუთხე აღემატება ზღვრულ კუთხეს.

თუ მიღწეულია გარდატეხის ზღვრული კუთხე ($\beta=90^0$), მაშინ $\sin\beta=1$. კუთხე α იქნება ვარდნის ზღვრული კუთხე φ.

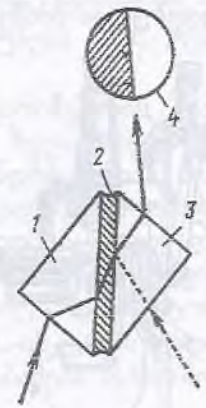
მაშასადამე:

$$n_1 \cdot 1 = n_2 \cdot \sin\varphi \text{ , ან } \sin\varphi = \frac{n_1}{n_2} .$$

გამოსაკვლევი ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის უნდა ვიცოდეთ ერთ-ერთი გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი და გავზომოთ ზღვრული φ კუთხის სიდიდე. ეს პრინციპი გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის რეფრაქტომეტრებში, სადაც გარდატეხის ცნობილი (მაღალი) მაჩვენებლის სახით გამოიყენება შინის სპეციალური სორტისაგან დამზადებული პრიზმები, რომლებზეც დააქვთ საანალიზო ხსნარი.

ფართოდაა გავრცელებული რეფრაქტომეტრები აბეს საზომი პრიზმით. საზომ პრიზმას ახლავს დამატებითი გამანათებელი პრიზმა. მისი მქრქალი წახნაგი დევს საზომ პრიზმაზე, მაგრამ მათ შორის რჩება ღრეჩო 0,1- 0,2 მმ. სწორედ ამ ღრეჩოს ავსებენ საანალიზო სითხის 1-2 წვეთით (პრიზმებს გააჩნიათ წყლის ჰერანგი თერმოსტატირებისათვის). აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრებს გააჩნიათ ე.წ. კომპენსატორი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ სითხეების გარდატეხის მაჩვენებელი პრიზმების განათებისას დღის ან ელექტრული სინათლით.

სხივების გარდატეხა აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრებში ნაჩვენებია 171-ე ნახაზზე. სხივი სინათლის წყაროდან გამანათებელ პრიზმაში შესვლისას გარდატყდება, გაივლის საანალიზო სითხის შრეს, საზომ პრიზმას, კვლავ გარდატყდება და შემდეგ მიემართება მხედველობით მილში. მხედველობითი მილის ოკულარში დავინახავთ, რომ პრიზმის გამოსავალი წახნაგის მარჯვენა ნაწილი განათებულია, ხოლო მარცხენა — ჩაბნელებული. გაზომვის ჩატარებისას რეფრაქტომეტრის პრიზმების შემობრუნებით აღწევენ იმას, რომ მხედველობითი მილის ოკულარში გამოჩნდეს სინათლისა და ჩრდილის მკვეთრი საზღვარი, რომელიც შუაზე ყოფს მხედველობის არეს. ამის შემდეგ აითვლიან სითხის გარდატეხის მაჩვენებელს ხელსაწყოს სკალის მიხედვით.

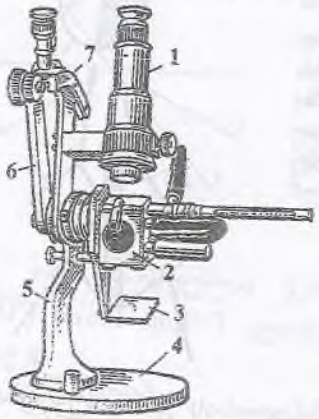


ნახ.171. აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრების პრიზმებში სხივების გარდატეხა: 1-გამანათებელი პრიზმა; 2-საანალიზო სითხის ფენა; 3-საზომი პრიზმა; 4-საზომი მილის მხედველობის არე

აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრებს (ლაბორატორიული რეფრაქტომეტრი РЛ ან РЛ-2, ლაბორატორიული უნივერსალური რეფრაქტომეტრი РЛУ, რეფრაქტომეტრი დისპერსიული უნივერსალური РДУ, რეფრაქტომეტრი ИРФ-22 და სხვ.) გააჩნია მოქმედების ერთნაირი პრინციპი, თუმცა განსხვავდება პრიზმების განლაგებით, სკალის მოწყობილობით ან გაზომვის ზღვრებით.

რეფრაქტომეტრი ლაბორატორიული უნივერსალური ***РЛУ*** (ნახ.172) საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ

სითხეების გარდატეხის მაჩვენებლები საკმაოდ ფართო ინტერვალში 1,3-1,7. ჩვენებეთა სისწორის შემოწმება ხდება გამოხდილი წყლის მიხედვით. ხელსაწყოს პრიზმები დამზადებულია მძიმე მინისაგან (მინის n_D^{20}=1,7500).



ნახ.172. რეფრაქტომეტრი ლაბორატორიული უნივერსალური РАУ: 1-მხედველობითი მილი; 2-პრიზმები; 3-სარკე; 4-ძირი; 5-დგარი; 6-კრონშტეინი; 7-სკალა

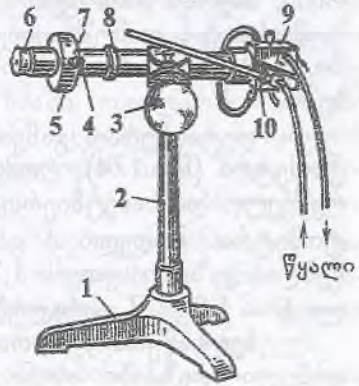
გაზომვის დაწყებამდე რეფრაქტომეტრს შემოაბრუნებენ ღერძის გასწვრივ, აწევენ ზედა პრიზმას, უძრავ ქვედა პრიზმაზე მოათავსებენ საანალიზო ხსნარის 1-2 წვეთს, მიაჭერენ პრიზმებს სპეციალური ბერკეტით და კვლავ შემოაბრუნებენ რეფრაქტომეტრს მუშა მდგომარეობაში. ოკულარის საშუალებით აითვლიან სკალის მიხედვით გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობას 0,0001 სიზუსტით. შუქგაბნევის მოცილება ხათელი და ჩაბნელებული მხედველობის არის საზღვარზე ხდება კომპენსატორის ხრახნით. გაზომვას ატარებენ 20°C-ის დროს. თერმოსტატირებისათვის პრიზმები მოთავსებულია ლითონის გარსაცმში, რომელშიც ხდება წყლის ცირკულირება.

ლაბორატორიული რეფრაქტომეტრი-საქარიმეტრი ***РЛ*** განკუთვნილია საქაროზას შემცველობის განსაზღვრისათვის ხსნარებში, ხილისა და ბოსტნეულის წვენებში. ოკულარში ჩანს სკალის ორი ნახევარი. მარცხენა ნაწილზე დატანილია გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობები, მარჯვენაზე—საქაროზას შემცველობა პროცენტებში. ოკულარის ზევით და ქვევით გადაადგილებისას სკალაზე ეძებენ განათებული და ჩაბნელებული მხედველობის არეების საზღვარს, ათავსებენ მასთან სამიზნებელ დანაყოფებს (კაწრულებს), სინათლის ათინათებს აქრობენ კომპენსატორით. რეფრაქტომეტრს გააჩნია თერმომეტრი. ხელსაწყო უერთდება თერმოსტატს, რომელიც ინარჩუნებს 20°C ტემპერატურას.

РЛ ტიპის რეფრაქტომეტრ-საქარიმეტრის შემოწმებისას სინათლეს სარკით მიმართავენ ზედა ნახევარცილინდრის ფანჯარაში. ზედა ნახევარცილინდრს ხსნიან, პრიზმის ქვედა ნახევარზე მინის წკირით გადააქვთ გამოხდილი წყლის წვეთი. ნახევარცილინდრის ზედა ნახევრის დახურვის შემდეგ ოკულარის საშუალებით სკალის მიხედვით მოძებნიან გარდატეხის მაჩვენებელს. თუ რეფრაქტომეტრი წესივრულ მდგომარეობაშია, მან 20°C-ის დროს უნდა მოგვცეს მნიშვნელობა 1,333, რაც შეესაბამება ხსნარში საქაროზას ნულოვან (0%) შემცველობას.

სითხეების გარდატეხის მაჩვენებლების უფრო ზუსტი გაზომვისათვის გამოიყენება პულფრიხის რეფრაქტომეტრი და ე.წ. პრეციზიული რეფრაქტომეტრები, რომლებშიც მონოქრომატული სინათლის გარდატეხის კუთხეები იზომება სპეციალური პრეციზიული გონიომეტრებით. გარდატეხის მაჩვენებელი n აქ განისაზღვრება $1 \cdot 10^{-5}$ სიზუსტით.

ლაბორატორიული პრეციზიული რეფრაქტომეტრი ***РПЛ*** (ნახ.173) განკუთვნილია ხსნარებში საქაროზას შემ-



ნახ.173. რეფრაქტომეტრი პრეციზიული ლაბორატორიული РПЛ : 1-ჩასადგამი; 2-სვეტი; 3-სახსრის მომჭერი; 4-რეგულირების ხრახნი; 5-რეგულირების საყელური; 6-ოკულარი; 7-ამთვლელი დოლი; 8-კომპენსატორის გარე მბრუნავი რგოლი; 9-კამერა გამანათებელი პრიზმით; 10-კამერა საზომი პრიზმითა და თერმომეტრით

ცველობის განსაზღვრისათვის, რის გამოც მას ხშირად რეფრაქტომეტრ - საქაროიმეტრსაც უწოდებენ (იყენებენ ხილსა და ბოსტნეულში ხსნადი მშრალი ნივთიერებების შემცველობის განსაზღვრისათვის).

РПЛ ტიპის რეფრაქტომეტრის სკალა პირობითია, მისი მაჩვენებლები უნდა გადავითვალოთ საქაროზას პროცენტულ შემცველობაზე სპეციალური ცხრილის საშუალებით.

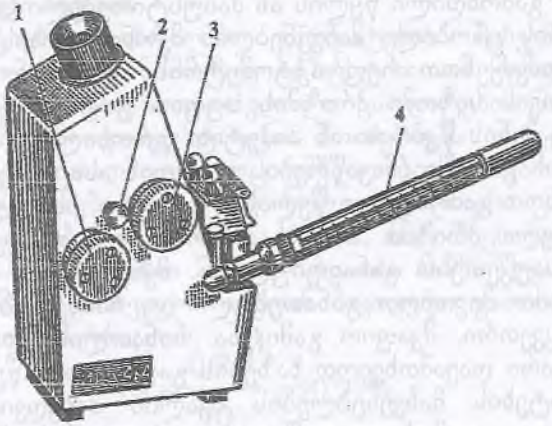
იმ შემთხვევაში, როდესაც არაა აუცილებელი მაღალი სიზუსტე, იყენებენ გამარტივებული კონსტრუქციის *საველე რეფრაქტომეტრს*. მისი სკალა გრადუირებულია 0,2-ის შემდეგ, საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ხილსა და ბოსტნეულში მშრალ ნივთიერებათა რაოდენობა 0-დან 30%-მდე. ასეთ რეფრაქტომეტრს არ გააჩნია მოწყობილობა ტემპერატურის რეგულირებისათვის და თუ ტემპერატურა განსხვავებულია 20 °C-ისაგან, ჩვენებებში უნდა შევიტანოთ შესწორება — მშრალი ნივთიერების ±0,2% ყოველ 3 °C-ზე.

პროცესების კონტროლისათვის ქიმიურ ტექნოლოგიაში, განსაკუთრებით წარმოების ავტომატიზაციისას, შექმნილია *გამდინარე რეფრაქტომეტრები*. ასეთი ხელსაწყოებით შეგვიძლია გავზომოთ მოძრავი სითხის ცვალებადი გარდატეხის მაჩვენებლები.

სითხეების დიდი მოცულობის (მაგალითად, ყარაქის, რძის, შაქრის სიროფების) გარდატეხის მაჩვენებლების გაზომვისათვის დამუშავებულია *ჩაძირვის რეფრაქტომეტრები*, რომელთა საზომი პრიზმა ჩაიძირება გამოსაცდელ სითხეში.

დეტალურად განვიხილოთ ИРФ-54 ტიპის რეფრაქტომეტრი (ნახ.174), რომელიც ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო და სამეცნიერო ლაბორატორიებში. ამ რეფრაქტომეტრის მოდელი А განკუთვნილია გარდატეხის მაჩვენებლის გაზომვისათვის 1,2...2,0 ფარგლებში, ხოლო მოდელი Б — 1,2...1,7 ფარგლებში.

ხელსაწყოს ძირითადი ნაწილია საზომი და გამანათებელი პრიზმები. ისინი მიჭერილია ერთმანეთთან ჰიპოთენუზური წახნაგებით. გამანათებელ პრიზმას აქვს ძქრქალი წახნაგი, ხოლო საზომ პრიზმას — გაპრიალებული.



ნახ.174. ИРФ-54 რეფრაქტომეტრი:
1,3-მჭნევარები; 2-სახშობი; 4—თერმომეტრი

გამოსაკვლევი სითხის გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრისას მას ათავსებენ ორ ჰიპოთენუზურ წახნაგს შორის. სინათლის სხივი გამანათებელი პრიზმის გავლით ეცემა გამოსაკვლევ სითხეს და შემდეგ საზომი პრიზმის გაპრიალებულ წახნაგს. საზომი პრიზმის გარდატეხის მაჩვენებელი ცნობილია. ვინაიდან რეფრაქტომეტრით ვიკვლევთ ნივთიერებებს, რომელთა გარდატეხის მაჩვენებელი საზომი პრიზმის გარდატეხის მაჩვენებელზე ნაკლებია, ყველა მიმართულების სხივი სითხისა და სინათლის საზღვარზე გარდატეხისას შევა საზომ პრიზმაში. ოკულარში (საზომი პრიზმის გამოსავალი წახნაგიდან) აკვირდებიან სინათლის გარდატეხას ან არეკვლას. მხედველობის არის ზედა ნაწილი განათებულია, ხოლო ქვედა რჩება ჩაბნელებული. ზღვრული φ კუთხის სიდიდეს საზღვრავენ სინათლისა და ჩრდილის საზღვრის მიხედვით. ამისათვის ის უნდა შევათავსოთ ხაზების გადაკვეთის წერტილს. სკალის მიხედვით აითვლიან მოცემული ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელს.

რეფრაქტომეტრით სარგებლობისას მკაცრად უნდა დავიცვათ გარკვეული წესები.

გაზომვის დაწყებამდე უნდა შევამოწმოთ გამანათებელი და საზომი პრიზმის სისუფთავე.

გამოხდილი წყლის ან მაიუსტირებელი სითხის (გარდატეხის ცნობილი მაჩვენებლის მქონე სითხის) საშუალებით დავაყენოთ რეფრაქტომეტრის ნულოვანი წერტილი. ამისათვის საზომი პრიზმის სუფთა გაპრიალებულ ზედაპირზე მინის წკირით ან პიპეტით ფრთხილად, პრიზმასთან შეხების გარეშე (ნაკაწრების თავიდან ასაცილებლად), მოვათავსოთ გამოხდილი წყლის 2-3 წვეთი. ჩამოვუშვათ გამანათებელი პრიზმა. სარკის შემობრუნებით მივიღოთ სკალის საუკეთესო განათებულობა. მქნევარების 1,3 შემობრუნებით მივიღოთ განათებული და ჩაბნელებული ველების მკვეთრი, მკაფიო გამიჯვნა. სინათლისა და ჩრდილის საზღვარი დავაშთხვიოთ ხაზების გადაკვეთის წერტილს და გარდატეხის მაჩვენებლების სკალის მიხედვით ავიღოთ ანათვალი. გამოხდილი წყლის გარდატეხის მაჩვენებელი 20 °C-ის დროს 1,3330-ის ტოლია. თუ მივიღებთ სხვა სიდიდეს, რეფრაქტომეტრი უნდა გავმართოთ. ამისათვის უნდა ამოვხრახნოთ სახშობი და ხრახნის შემოტრიალებით მაიუსტირებელი გასაღებით მივაღწიოთ იმას, რომ სინათლისა და ჩრდილის საზღვარი გარდატეხის მაჩვენებლის 1,3330 ტოლი მნიშვნელობისას აღმოჩნდეს ხაზების გადაკვეთის წერტილში.

გავზომოთ გამოსაკვლევი ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი. ამისათვის ავწიოთ გამანათებელი პრიზმა და სუფთა რბილი ჩვრით ფრთხილად გავასუფთაოთ ორივე პრიზმის ზედაპირი (საქმე იმაშია, რომ რეფრაქტომეტრების პრიზმები დამზადებულია რბილი ოპტიკური მინისაგან და ადვილად იკაწრება). საზომი პრიზმის ზედაპირზე მოვათავსოთ გამოსაკვლევი სითხის 2 წვეთი, ჩამოვუშვათ გამანათებელი პრიზმა, პრიზმები მივაჭიროთ ერთმანეთს. მქნევარების 1,3 შემობრუნებით დავაშთხვიოთ სინათლისა და ჩრდილის საზღვარი ხაზების გადაკვეთის წერტილს. სკალის მიხედვით ავითვალოთ გამოსაკვლევი ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობა. ხსნარის კონცენტრაცია განვსაზღვროთ შესაბამისი ცხრილების მიხედვით.

ყოველი განსაზღვრის შემდეგ ორივე პრიზმა უნდა გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით და სპირტით, გავამშრალოთ რბილი ჩვრით.

ზოგიერთ ცხრილში გარდატეხის მაჩვენებლები მოცემულია მესამე ნიშნამდე სიზუსტით. ამ შემთხვევაში ოთხი ნიშნადი ციფრით ათვლილი გარდატეხის მაჩვენებლის შესაბამისი კონცენტრაცია მოიძებნება ინტერპოლირებით. მაგალითად თუ კალციუმქლორიდის ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი 1,3454, ხოლო უახლოესი ცხრილური მნიშვნელობებია 1,345 და 1,346, რაც შეესაბამება 10 და 10,9%-ს, მაშინ მათ შორის სხვაობა 0,9% შეესაბამება მესამე ნიშნის ერთეულს. აქედან მივიღებთ გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციას:

$$10 + \frac{0{,}9 \cdot 3}{10} = 10{,}27\% .$$

ვინაიდან რეფრაქტომეტრების ყველაზე უფრო ნაზი ნაწილებია პრიზმები, ამიტომ საჭიროა განსაკუთრებული სიფრთხილე მათი გასუფთავებისას. დაუშვებელია მჟავებისა და ტუტეების გარდატეხის მაჩვენებლების გაზომვა — ისინი აზოჭაძენ პრიზმის ზედაპირს.

რეფრაქტომეტრიის გამოყენების არე. რეფრაქტომეტრების საშუალებით გარდატეხის მაჩვენებელს განსაზღვრავენ ორმაგი თხევადი ხსნარების ექსპერტიზისას, როდესაც ცნობილია n სიდიდის დამოკიდებულება ხსნარის კონცენტრაციაზე. ხშირად განსაზღვრავენ არომატული და არაარომატული ნახშირწყალბადების, მარილების შემცველობას წყალხსნარებში.

რეფრაქტომეტრიას ხშირად იყენებენ საქაროზას კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის სხვადასხვა ხსნარებსა და წვენებში; ხსნადი მშრალი ნივთიერებების განსაზღვრისათვის სხვადასხვა ექსტრაქტებში, წვენებში, პასტებში.

რეფრაქტომეტრია — შაქრების შემცველობის განსაზღვრის ექსპრეს-მეთოდია ფაბრიკებსა და საკონსერვო ქარხნებში დასამუშავებლად მიღებულ ხილსა და ბოსტნეულში, როგორიცაა: ყურძენი, ვაშლი და მსხალი, შაქრის ჭარხალი, საზამთრო, ნესვი, სტაფილო და ა. შ. ხილისა და ბოსტნეულის ხარისხის განსაზღვრისას წინასწარ ეძებენ

წყალ'ში ხსნადი ძ'ძრალი ნივთიერებების საქაროზას 'შეძცველობაზე გადათვლის კოეფიციენტებს.

რეფრაქტომეტრია ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე რძის, რძის პროდუქტების, კარაქის ცხიმიანობის განსაზღვრისას.

ვინაიდან ქიმიური, ფარმაცევტული და კვების მრეწველობის ტექნიკური პროდუქტები შეიცავენ მინარევებს, ამიტომ მათი გარდატეხის მაჩვენებლები ყოველთვის განსხვავდება შესაბამისი ინდივიდუალური ნაერთების გარდატეხის მაჩვენებლებისაგან. ამიტომ ტექნიკური პროდუქტების გარდატეხის მაჩვენებელი ხშირად წარმოადგენს სტანდარტებით გათვალისწინებული სისუფთავის მახასიათებელს.

წყალხსნარში საქაროზას შემცველობის განსაზღვრის მეთოდიკა РП.1 ტიპის რეფრაქტომეტრ - საქარიმეტრზე. პირველ რიგში რეფრაქტომეტრი უნდა მოვამზადოთ მუშაობისათვის. ამისათვის რეფრაქტომეტრის პრიზმების კამერის შტუცერებთან უნდა მივაერთოთ თერმოსტატის რეზინის მლანგები. თერმოსტატი უნდა დარეგულირდეს 20 °C-ის მქონე წყლის მიწოდებაზე. ამ ტემპერატურის მქონე წყალი უნდა გავატაროთ 20-30 წუთის განმავლობაში, რათა პრიზმებმა მიიღონ ეს ტემპერატურა.

ძომჭერის 3 (ნახ.173) საშუალებით რეფრაქტომეტრი დავაყენოთ ისე, რომ საზომი პრიზმის სიბრტყე აღმოჩნდეს ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში. გავხსნათ კამერა პრიზმებით, გამოვრეცხოთ პრიზმები ეთანოლით და გამოხდილი წყლით, შემდეგ გავაშრალოთ საზომი პრიზმის გაპრიალებული და გაშანათებელი პრიზმის მკრთალი ზედაპირი ბამბით (ან რბილი ჩვრით).

შევამოწმოთ სკალის ნულოვანი წერტილის დაყენების სისწორე. ამისათვის მაიუსტირებელი სითხის სახით გამოვიყენოთ გამოხდილი წყალი (n_D^{20}=1,3330). საზომი პრიზმის გაპრიალებულ სიბრტყეზე მინის წკირით მოვათავსოთ ახლადგამოხდილი წყლის 1-2 წვეთი, დავხუროთ პრიზმები და რეფრაქტომეტრის ან სინათლის წყაროს (75-100 ვატის სიმძლავრის ვარვარების ნათურა) მდგომარეობის შეცვლით მივაღწიოთ ოკულარში ბ მხედველობის არის კარგ განათებულობას. დავაყენოთ ამთვლელი დოლი 7 ნულზე და კომპენსატორის რგოლის 8 შემობრუნებით მივაღწიოთ სინათლისა და ჩრდილის მკაფიო საზღვარს ოპტიკურ ველში. ეს საზღვარი 20 °C-ის დროს უნდა გადიოდეს სკალის ნულოვან დანაყოფზე. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა ხელსაწყოს კორექცია. ამისათვის ქანჩის გასაღებით ოდნავ მოვუშვათ ხრახნი 4 და ამთვლელი დოლის 7 ნულოვან მდგომარეობაში ყოფნისას შემოვაბრუნოთ საყელური 5, ვიდრე საზღვარი არ დაემთხვევა სკალის ნულოვან

დანაყოფს; ამის შემდეგ კვლავ მოვუჭიროთ ხრახნი 4. ამით რეფრაქტომეტრის მომზადება დასრულებულია.

განსაზღვრის მიმდევრობა. ავიღოთ საქაროზას უცნობი კონცენტრაციის ხსნარი. გავხსნათ პრიზმები, გავამშრალოთ მათი ზედაპირები რბილი ჩვრით, მოვათავსოთ მათ შორის მინის წკირით (ან პიპეტით) საანალიზო ხსნარის 1-2 წვეთი, კომპენსატორის რგოლის შემობრუნებით მივიღოთ სინათლისა და ჩრდილის მკაფიო საზღვარი ოპტიკურ ველში, მივიყვანოთ ამთვლელი დოლი ნულოვან მდგომარეობაში და სკალაზე დავაკვირდეთ სინათლისა და ჩრდილის საზღვრის მდგომარეობას. თუ ეს საზღვარი აღმოჩნდება სკალის დანაყოფებს შორის, ამთვლელი დოლის შემობრუნებით მივიყვანოთ ის უახლოეს ქვედა დანაყოფამდე. ჩავწეროთ გაზომვის შედეგი. ამისათვის მთელი რიცხვები ავითვალოთ სკალის მიხედვით, ხოლო მეათედები ამთვლელი დოლის მიხედვით.

რეფრაქტომეტრის ჩვენებათა ათვლა ყოველი განსაზღვრისას უნდა მოვახდინოთ რამდენჯერმე. ამიტომ სინათლისა და ჩრდილის საზღვრის გადაადგილებით სკალის ხან ერთი და ხან მეორე მიმართულებით განმეორებით ავიღოთ გარდატეხის მაჩვენებლები (ეს ოპერაციები გავიმეოროთ ხუთჯერ).

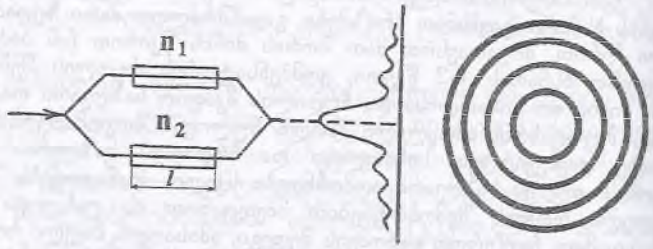
ამის შემდეგ კვლავ გამოვრეცხოთ და გავამშრალოთ პრიზმების მუშა ზედაპირები, მოვათავსოთ საანალიზო ხსნარის 1-2 წვეთი და ჩავატაროთ გაზომვების მეორე სერია. გამოვითვალოთ გარდატეხის მაჩვენებლის საშუალო მნიშვნელობა.

ვინაიდან РПЛ რეფრაქტომეტრის სკალა პირობითია, საქაროზას შემცველობა ხსნარში უნდა მოვძებნოთ ცხრილის გამოყენებით (ახლავს ხელსაწყოს).

თუ ანალიზისათვის გამოიყენება ლაბორატორიული რეფრაქტომეტრ-საქარიმეტრი РЛ, მაშინ საქაროზას პროცენტული შემცველობა საანალიზო ხსნარში მოიძებნება მისი სკალის მარჯვენა ნაწილის მიხედვით.

რეფრაქტომეტრიის მესამე ჯგუფის — ინტერფერენციულ მეთოდებში სინათლის სხივს ყოფენ ისეთნაირად, რომ მისი ორივე ნაწილი გადიოდეს *l* სიგრძის კიუვეტებში, რომლებიც შევსებულია სხვადასხვა გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე ნივთიერებებით. კიუვეტებიდან გამოსვლისას მივიღებთ სხივთა სვლის გარკვეულ სხვაობას, სხივების შეკრებისას კი — ეკრანზე ინტერფერენციული მაქსიმუმებისა და მინიმუმების მდგრად სურათს (ნახ.175) k რიგით (სქემატურად ნაჩვენებია მარჯვნივ). ინტერფერენციის გამოხდება ენერგიის გადანაწილება სივრცეში. ის აღარ ნაწილდება თანაბრად გარემოს ყველა წერტილში, არამედ

კონცენტრირდება მაქსიმუმებში იმის ხარჯზე, რომ მინიმუმებში საერთოდ არ მიეწოდება.



ნახ.175. ინტერფერენციული რეფრაქტომეტრის მოქმედების პრინციპი

შესადარებელი ნივთიერებების გარდატეხის მაჩვენებლების სხვაობა განისაზღვრება ამ ნივთიერებებში გასული სხივების ინტერფერენციის რიგების რიცხვის მიხედვით

$$\Delta n = n_2 - n_1 = k\frac{\lambda}{2}, \qquad (57)$$

სადაც λ სინათლის ტალღის სიგრძეა.

ინტერფერენციული მეთოდების სიზუსტე აღწევს 10^{-7} - 10^{-8}.

ინტერფერენციულ მეთოდებს იყენებენ აირებში და განზავებულ ხსნარებში გაზომვების დროს.

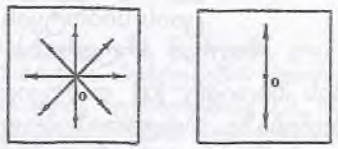
რეფრაქტომეტრული მეთოდების უპირატესობაა გაზომვის სისწრაფე, ნივთიერების მცირე ხარჯი და მაღალი სიზუსტე.

2.2.2.8. პოლარიმეტრული ანალიზი

პოლარიმეტრული ანალიზი დაფუძნებულია ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებებით სინათლის პოლარიზაციის სიბრტყის შემობრუნების (ცვლილების) გაზომვაზე. ეს თვისება გაპირობებულია ორგანული ნაერთის მოლეკულაში ნახშირბადის თუნდაც ერთი ასიმეტრიული ატომის არსებობით. ოპტიკურად აქტიურია ნახშირწყალბადების მე-

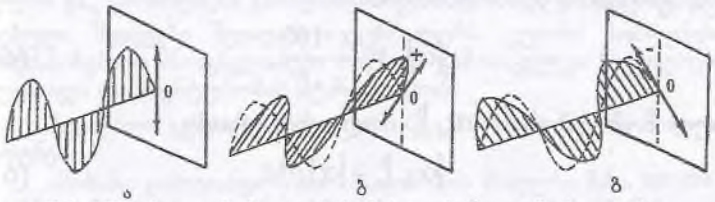
ტი წილი, აგრეთვე ანტიბიოტიკები, გლუკოზიდები, ალკალოიდები, ეთერის ზეთები და ზოგიერთი სხვა ნაერთი.

ელექტრომაგნიტური თეორიის მიხედვით ბუნებრივ მონოქრომატულ სინათლის სხივში რხევები ხდება სხივის მიმართულების პერპენდიკულარულ ყველა სიბრტყეში. მაგრამ ზოგიერთი ნივთიერების (მაგალითად, ისლანდიის შპატის $CaCO_3$) კრისტალურ გისოსს გააჩნია უნარი გაატაროს რხევის მხოლოდ განსაზღვრული მიმართულების სხივები, რის გამოც ასეთი კრისტალიდან გამოსვლისას სხივის რხევები ხდება მხოლოდ ერთ სიბრტყეში. ასეთ სხივს უწოდებენ პოლარიზებულს, სიბრტყეს — პოლარიზებული სხივის რხევის სიბრტყეს, ხოლო მის მიმართ პერპენდიკულარულ სიბრტყეს — პოლარიზაციის სიბრტყე. მაგალითად, თუ 0 წერტილით აღვნიშნავთ ნახაზის სიბრტყის მიმართ მართობული სინათლის სხივის მიმართულებას, მაშინ სქემატურად ამ სიბრტყეში რხევების მიმართულება ბუნებრივი სხივისათვის ნაჩვენებია (176, ა) ნახაზზე, ხოლო პოლარიზებული სხივისათვის (176, ბ) ნახაზზე.



ნახ.176

როდესაც ოპტიკურად აქტიური ნავთიერების ფენაში გადის პოლარიზებული სხივი, ნივთიერებათა ერთი ნა-



ნახ.177. პოლარიზაციის სიბრტყის მდგომარეობები: ა-საწყისი; ბ-მარჯვენა მობრუნება; გ-მარცხენა მობრუნება

წილი იწვევს პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნებას მარცხნივ (საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით), რასაც ეწოდება მარცხენა (ან მინუსური <<->>) მობრუნება (ნახ.177), მეორე ნაწილი კი აბრუნებს სხივის პოლარიზა-

ციის სიბრტყეს მარჯვნივ (საათის ისრის მიმართულებით), რასაც ეწოდება მარჯვენა (ან პლუსური <<+>>)მობრუნება.

ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების კონცენტრაციას, ამ ნივთიერების ხსნარის ფენის სისქესა და მობრუნების α კუთხეს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\alpha = [\alpha] \cdot C \cdot l , \qquad (58)$$

სადაც C ხსნარის კონცენტრაციაა გ/მლ;

l — ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების ფენის სისქე, დმ;

$[\alpha]$ — ე.წ. კუთრი მობრუნება, რომელიც შეესაბამება ხსნარის 1 სმ³-ში ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების 1 გ-ის შემცველი $l = 1$ დმ სისქის ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების მიერ პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხეს.

მაგრამ პოლარიზაციის სიბრტყის კუთრი მობრუნების სიდიდე $[\alpha]$ დამოკიდებულია გახსნილი ნივთიერების ბუნებაზე, პოლარიზებული სინათლის ტალღის სიგრძეზე და ტემპერატურაზე. აშის გათვალისწინებით გამოიყენება აღნიშვნა $[\alpha]_\lambda^t$. სუფთა თხევადი ნივთიერებებისათვის მობრუნების კუთხე შეიძლება მოიძებნოს ფორმულით

$$[\alpha]_\lambda^t = \alpha / (\rho \ell), \qquad (59)$$

ნივთიერებათა ხსნარისათვის

$$[\alpha]_\lambda^t = \frac{\alpha \cdot 100}{c \cdot \ell}, \qquad (60)$$

ხოლო მობრუნების $[\alpha_M]_\lambda^t$ მოლური კუთხე

$$[\alpha_M]_\lambda^t = [\alpha]_\lambda^t \cdot M , \qquad (61)$$

სადაც α მობრუნების კუთხეა, გრადუსი;

ρ — სიმკვრივე, გ/სმ³;

l—სითხის ფენის სისქე, დმ;

C—კონცენტრაცია, გ/100 სმ³;

t—ცდის ტემპერატურა, °C;

λ—სინათლის სხივის ტალღის სიგრძე;

M—მოლური მასა.

ნივთიერებათა მობრუნების კუთრი და მოლური კუთხეების მნიშვნელობები ნატრიუმის სპექტრის ყვითელი მონოქრომატული D ხაზისათვის 20 °C-ის დროს მოცემულია ცხრილებში (ცხრილი 21)

ცხრილი 21

ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებების მობრუნების კუთრი კუთხეები $[\alpha]_D^{20}$

ნივთიერებები	$[\alpha]_D^{20}$	ნივთიერებები	$[\alpha]_D^{20}$
საქაროზა	+66,37	ასკორბინმჟავა	+23,00
გლუკოზა	+52,50	ძ-ღვინომჟავა	+11,98
ფრუქტოზა	-93,00	ლ-ქაფური	-41,00
ლაქტოზა	+53,50	ნუშმჟავა	+156,57
რაფინოზა	+104,00	ლ-მორფინი	-134,80

ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების (გლუკოზა, საქაროზა, ლაქტოზა ან გალაქტოზა) პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხის განსაზღვრის მეთოდიკა: მოვამზადოთ ნივთიერების 0,5 M ხსნარი ზუსტი წონაკის მიხედვით და გამოვიანგარიშოთ ნივთიერების შემცველობა გრამებში ხსნარის 100 სმ³-ში. შევამოწმოთ ხელსაწყოს ნულოვანი მდგომარეობა ჰაერის ან გამოხდილი წყლის მიხედვით. მომზადებული ხსნარით მოვავსოთ კიუვეტა, შემდეგ გავავსოთ ის ამ ხსნარით და გავზომოთ მობრუნების კუთხე. გაზომვა ჩავატაროთ სამჯერ და ავიღოთ მობრუნების კუთხის საშუალო მნიშვნელობა. კუთრი $[\alpha]_\lambda^t$ და მოლური $[\alpha_M]_\lambda^t$ მობრუნება გამოვიანგარიშოთ ფორმულებით (60), (61). მიღებული შედეგები შევადაროთ ცხრილურს. კუთრი მობრუნების შეპირისპირებადი მნიშვნელობები მოწმობს გამოსაკვლევი ნივთიერების სისუფთავეს და იდენტურობას სტანდარტთან.

მაგალითი. განვსაზღვროთ $C_{18}H_{32}O_{16}\cdot 5H_2O$ რაფინოზის მოლური მობრუნება.

ამოხსნა: გამოვიანგარიშოთ რაფინოზის მოლური მასა M=594 გ, მოვძებნოთ 21-ე ცხრილიდან მობრუნების კუთრი კუთხის მნიშვნელობა სათანადო ნივთიერებისათვის $[\alpha]_D^{20} = 104^0$. მაშინ რაფინოზის მოლური მობრუნება (61) ფორმულის თანახმად ტოლი იქნება:

$$[\alpha_M]_D^{20} = 104^0 \cdot 594 = +61776 .$$

გვეცოდინება რა ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების მობრუნების კუთრი კუთხე და ხსნარის ფენის სისქე, ხსნარში ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების კონცენტრაციის

განსაზღვრისათვის საკმარისი იქნება განვსაზღვროთ პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხე.

ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების (გლუკოზა, საქაროზა, ლაქტოზა ან გალაქტოზა) კონცენტრაციის განსაზღვრის მეთოდიკა: საანალიზო ხსნარი მოვათავსოთ კიუვეტაში და რამდენჯერმე განვსაზღვროთ პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხე. მოვძებნოთ მობრუნების კუთხის საშუალო მნიშვნელობა და გამოვიანგარიშოთ ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების ხსნარის კონცენტრაცია (60) ფორმულის მიხედვით, კერძოდ

$$C=\frac{\alpha\cdot 100}{[\alpha]_{\lambda}^{t}\cdot l}, \qquad (62)$$

მაგალითი. განვსაზღვროთ საქაროზას ხსნარის კონცენტრაცია (მოლი/დმ^3-ში), თუ ხსნარი 10 სმ სიგრძის კიუვეტაში აბრუნებს პოლარიზაციის სიბრტყეს მარჯვნივ 9,96 ^{0}-ით, ხოლო საქაროზას მოლური მასაა M=342 გ.

ამოხსნა: 21-ე ცხრილიდან მოვძებნით, რომ საქაროზას მობრუნების კუთრი კუთხეა $[\alpha]_D^{20}=+66{,}37^0$, მაშინ (62) ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ

$$C=\frac{\alpha\cdot 100}{[\alpha]_D^{20}\cdot l}=\frac{9{,}96\cdot 100}{66{,}37\cdot 1}=15\ \text{გ}/100\ \text{სმ}^3,$$

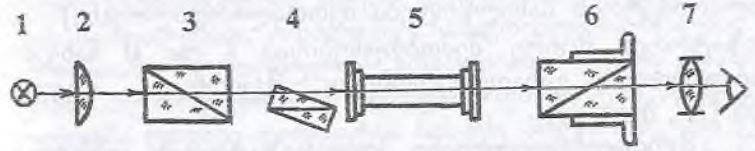
ხოლო კონცენტრაცია (მოლი /დმ^3-ში) შეადგენს

$$C_M=(15\cdot 10)/342=0{,}438.$$

კონცენტრაცია შეგვიძლია განვსაზღვროთ აგრეთვე საგრადუირებელი მრუდის მიხედვითაც. ამისათვის გამოვიყენოთ სტანდარტული ხსნარის განზავებები. ყოველი განზავების მობრუნების α კუთხის გაზომვის შემდეგ ავაგოთ α - C კოორდინატებში საგრადუირებელი მრუდი, გავზომოთ გამოსაკვლევი ხსნარის მობრუნების კუთხე და განვსაზღვროთ საგრადუირებელი მრუდის მიხედვით კონცენტრაცია.

აპარატურა პოლარიმეტრული გაზომვებისათვის. ოპტიკურად აქტიურ ნივთიერებაში მონოქრომატული სინათლის პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხის საზომ ხელსაწყოს *პოლარიმეტრი* ეწოდება.

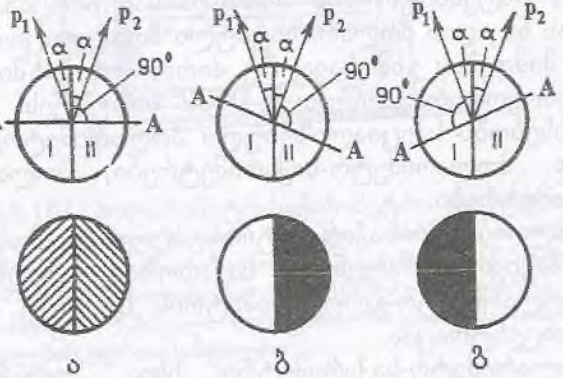
პოლარიმეტრის პრინციპული სქემა (ნახ.178) დაფუძნებულია იმაზე, რომ სინათლის წყაროდან სხივი გადის ორი პრიზმისაგან შემდგარ სისტემაში — უძრავ პოლარიზატორში და საბრუნ ანალიზატორში. უკანასკნელის შემობრუნებით ვაღწევთ ხელსაწყოს ხედვის არის ორი ნახევრის სიკაშკაშეთა ვიზუალურ გათანაბრებას. საბრუნი ანალიზატორის მობრუნების კუთხეს ავითვლით ნონიუსით აღჭურვილი სამარჯვით.



ნახ.178. მკრთალჩრდილოვანი პოლარიმეტრის პრინციპული სქემა: 1-სინათლის წყარო; 2-კონდენსორი; 3,4-მკრთალჩრდილოვანი პოლარიზატორი; 5-მილი, რომელშიც მოთავსებულია გასაზომი ოპტიკურად აქტიური ხსნარი; 6-ანალიზატორი ანათვლის მოწყობილობით; 7-ანათვლის მოწყობილობის (მაგ., მიკროსკოპ-მიკრომეტრის) okულარი

ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული მკრთალჩრდილოვანი პოლარიმეტრები. აქ ანალიზატორის შემობრუნების კუთხეს ავითვლით ოპტიკური ველის თანაბარი სუსტი განათებულობის (მკრთალი ჩრდილის) მიღწევის შემდეგ.

179-ე ნახაზზე მოცემულია მკრთალჩრდილოვანი პოლარიზატორები. მკრთალჩრდილოვანი პოლარიზატო-

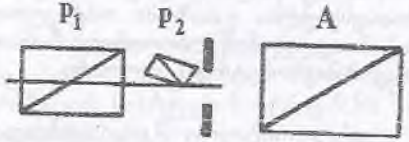


ნახ.179

რის ორი სხვადასხვა ნახევრის პოლარიზაციის P_1 და P_2 სიბრტყეები ერთმანეთთან ადგენენ მცირე 2α კუთხეს. ამიტომ, თუ ანალიზატორის პოლარიზაციის AA სიბრტყე

2α კუთხის ბისექტრისის პერპენდიკულარულია (ნახ.179,ა), ხედვის არის ორივე ნახევარი (I და II) თანაბრად იქნება განათებული, ე.ი. არასრულად ჩამქრალი (აქედან მოდის პოლარიმეტრის სახელწოდება მკრთალჩრდილოვანი). ანალიზატორის მცირე შემობრუნებისას I და II ნახევრის ფარდობითი განათებულობები მკვეთრად იცვლება (ნახ.179, ბ და გ).

მკრთალჩრდილოვანი პოლარიზატორის კონსტრუქციის მაგალითი ლიპიხის სქემით მოცემულია 180-ე ნახაზზე. აქ ორი P_1 და P_2 სა-



ნახ.180.

პოლარიზაციო პრიზმებია, რომელთაგანაც ერთი ფარავს ხედვის არის ნახევარს, A—ანალიზატორი.

მკრთალჩრდილოვანი პოლარიმეტრები საშუალებას გვაძლევს ოპტიკური ბრუნვის კუთხეები გავზომოთ $0,05^0$ სიზუსტით. ყველაზე სრულყოფილი ხელსაწყოებით ვაღწევთ $0,001-0,002^0$ სიზუსტეს, ხოლო თანამედროვე ფოტოელექტრული ავტომატური პოლარიმეტრებით, რომლებშიც ორი ინტენსიურობის შედარებისას ამოცანა წყდება სინათლის ნაკადის პოლარიზაციული მოდულაციით და სინათლის მიმღების გამოსავალზე ძირითადი სიხშირის სიგნალის გამოყოფით, ვაღწევთ $0,0002^0$ სიზუსტეს.

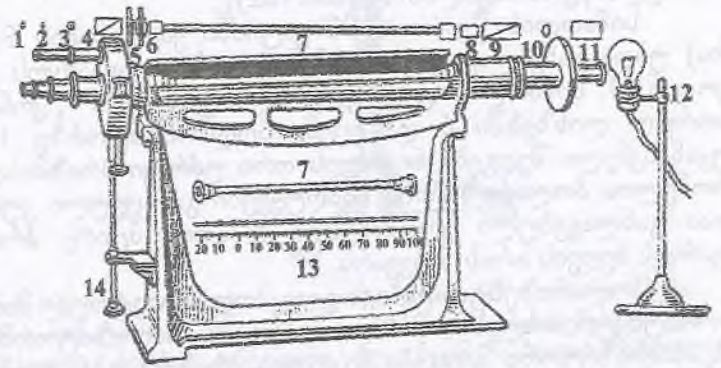
არსებობს სპეციალიზებული პოლარიმეტრებიც, მაგალითად, პოლარიმეტრ-საქარიმეტრები, პოლარიმეტრ-გლუკოზიმეტრები.

პოლარიმეტრ-საქარიმეტრის სკალაზე მობრუნების კუთხის მაგივრად ნაჩვენებია საქაროზას კონცენტრაცია, ხოლო პოლარიმეტრ-გლუკოზიმეტრის სკალაზე — გლუკოზის კონცენტრაცია.

პოლარიმეტრ-საქარიმეტრი სხვა პოლარიმეტრებისაგან განსხვავდება იმით, რომ ანალიზატორი მასში დაყენებულია უძრავად და ხედვის არეების განათებულობის გათანაბრებისათვის გამოიყენება კვარცის სოლიანი კომპენსატორი. მისი მოქმედება დაფუძნებულია საქაროზას მარჯვენა ბრუნვის კომპენსაციაზე კვარცის ფენის

სისქის შეცვლით. ასეთი კომპენსატორის კვარცის სოლები ჰორიზონტალურ მდგომარეობაშია განლაგებული ანალიზატორის წინ, მაგრამ პოლარიზაციული ძილის შემდეგ სოლის გადაადგილება ხდება კბილანისა და კბილა ლარტყას საშუალებით, რომელშიც ჩამაგრებულია სოლი; მის ჩარჩოსთან შეერთებულია ნონიუსიანი სკალა დანაყოფებით. თუ სოლებისაგან შემდგარი ფირფიტის სისქე გაუტოლდება უძრავი ფირფიტის სისქეს, პოლარიმეტრი გვიჩვენებს ნულოვან მობრუნებას. პოლარიმეტრ-საქარიმეტრის შემოწმება ხდება გამოხდილი წყლის მიხედვით. როდესაც ხედვის არის ორივე ნახევრის განათებულობა ერთნაირია, ნონიუსის ნული ემთხვევა სკალის ნულოვან დანაყოფს.

პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება უნივერსალური საქარიმეტრი СУ-2 (ნახ.181). სინათლის სხივი ვარვარების



ნახ.181. პოლარიმეტრ-საქარიმეტრი და მისი სქემა:
1-3-ოკულარი; 4-ანალიზატორი (ნიკოლის პრიზმა); 5-ორმაგი კვარცული კომპენსაცია; 6-ანალიზატორის დიაფრაგმა; 7-პოლარიზაციული ძილი; 8-9-ლიპიხის პოლარიზატორი; 10-შემკრები ლინზა; 11-შუქფილტრი; 12-ნათურა; 13-სკალა ნონიუსით; 14-კომპენსატორის პირზმების გადაადგილების ღეროს სახელურით

ელექტრული ნათურიდან (15-20 სმ-ით უნდა იყოს დაცილებული პოლარიმეტრიდან) გაივლის შუქფილტრს, მაძლიერებელ ლინზას, პოლარიზატორს. პოლარიზებული სხივი საქაროზას საანალიზო ხსნარის შემცველ მილში გავლისას გადაიხრება მარჯვნივ. სკალის ნულოვანი მდგომა-

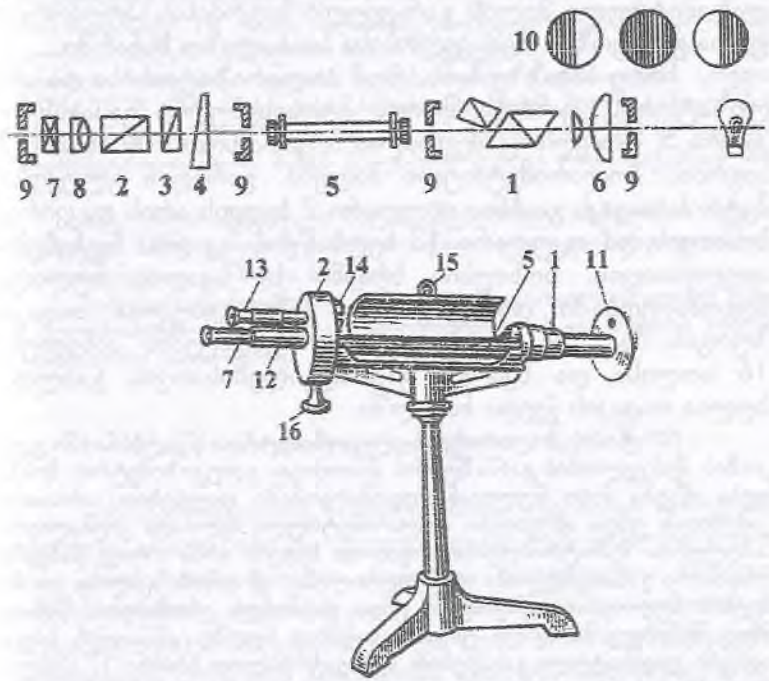
რეობისას თანაბრად შეფერილი ველები ძიიღებენ სხვადასხვა შეფერილობას. საქარიმეტრის ველების შეფერილობის გასათანაბრებლად ხელსაწყოს კომპენსაციის სისტემა უნდა შემოვაბრუნოთ იმ კუთხით, რა კუთხითაც გადახარა სხივი საქაროზას ხსნარმა. ამის მიღწევისას სქარიმეტრის ველები კვლავ შეფერილი იქნება ერთნაირად, მაგრამ სკალის ჩვენება შეიცვლება. საქარიმეტრის სკალის ერთი დანაყოფი (განსაზღვრული ტემპერატურის, საანალიზო ხსნარის შემცველი მილის სიგრძისა და სინათლის ტალღის სიგრძის შემთხვევაში) შეესაბამება საქაროზას 1%-ს. პროცენტის მეათედ ნაწილებს ავითვლით ნონიუსის საშუალებით. საქარიმეტრს აყენებენ ბნელ ოთახში, რათა გამოირიცხოს გარეშე სინათლის ზეგავლენა თვალზე.

პოლარიმეტრ-გლუკოზიმეტრი განვიხილოთ ПГ ტიპის ხელსაწყოს მაგალითზე (ნახ.182).

სინათლის წყარო (100 ვატიანი ვარვარების ნათურა) უნდა განვალაგოთ 120 სმ მანძილზე ხელსაწყოს დისკოდან 11. სინათლის სხივი გადის დიაფრაგმაში 9, კონდენსორულ ლინზებში 6 და ეცემა პოლარიზატორზე 1. ეს უკანასკნელი შედგება ნიკოლის ორი უძრავი პრიზმისაგან, რომელთა პოლარიზაციის სიბრტყეები გარკვეული კუთხითაა განლაგებული ერთმანეთის მიმართ. ძცირე პრიზმა ფარავს ხედვის არის ნახევარს.

პოლარიზებული სხივი გავა პოლარიმეტრულ მილში 5, ოპტიკურ სოლებში 3-4 და მოხვდება ანალიზატორში 2. ეს ანალიზატორი შედგება ნიკოლის პრიზმისაგან, რომლის ძთავარი კვეთი მართობულია პოლარიზატორის დიდი პრიზმის ძთავარი კვეთისა. ამის გამო პოლარიზატორის დიდ პრიზმაში გასული სხივები თითქმის მთლიანად შეკავდება ანალიზატორის პრიზმით. მაგრამ პოლარიზატორის ძცირე პრიზმა ხელს უშლის სხივების ნახევრის „გადაჯვარედინებას“ და ცარიელი პოლარიმეტრული მილის შემთხვევაში გლუკოზიმეტრის ხედვის არის ნახევარი აღმოჩნდება შუქი (ჩაბნელებული), ხოლო მეორე ნახევარი — ნათელი.

შესაძლებელია მივაღწიოთ იმას, რომ ნულოვან წერტილში ხედვის არის ორივე ნახევარს ჰქონდეს ერთნაირი სუსტი განათებულობა, ე.ი. მკრთალი ჩრდილი. ამისათვის გვაქვს უძრავი მარცხნივ მაბრუნი კვარცის სოლი 3, რომელიც განლაგებულია პოლარიმეტრულ ძილსა და ანალიზატორს შორის. ამ სოლის მარცხნივ მობრუნებით შეგვიძლია



ნახ.182. პოლარიმეტრ-გლუკოზიმეტრი ПГ და მისი სქემა:
1-პოლარიზატორი; 2-ანალიზატორი; 3-მარცხნივ მაბრუნებელი კვარცის სოლი; 4-მოძრავი ოპტიკური სოლი; 5-კამერა პოლარიმეტრული მილით; 6-კონდენსორული ლინზები; 7-ოკულარი მხედველობის არეზე დაკვირვებისათვის; 8-ობიექტივი; 9-დიაფრაგმები; 10-გლუკოზიმეტრის მხედველობის არეები ბრუნვის არაკომპენსირებული (კიდურა) და კომპენსირებული (საშუალო) კუთხეების შემთხვევაში; 11-დისკო; 12-მოსახსნელი ვაზნა; 13-ოკულარი სკალის ჩვენების ათვლისათვის; 14-ნონიუსის ხრახნი; 15-კამერის სახურავი; 16- გადაცემის სახელურები სოლისა და სკალის გადაადგილებისათვის

გავაბათილოთ პოლარიმეტრული მილის შემცველი გლუკოზის ხსნარის მიერ პოლარიზაციის სიბრტყის მარჯვნივ მობრუნება და ხედვის არის ორივე ნახევრის განათებულობა ხდება სხვადასხვა. ამის შემდეგ მოძრავი სოლით 4 გავაძლიეროთ მარცხენა მობრუნება და მივაღწიოთ ხედვის არის

ორივე ნახევრის გათანაბრებას განათებულობისა და ''შეფერილობის მიხედვით. მოძრავი სოლის გადაადგილება პოლარიმეტრული მილის გარკვეული სიგრძისას პროპორციულია გლუკოზის შემცველობისა საანალიზო ხსნარში.

182-ე ნახაზზე ჩანს, რომ პოლარიზატორისა და ანალიზატორის კვანძებს შორის მოთავსებულია გასახსნელი კამერა 5, რომელშიც შეგვიძლია მოვათავსოთ 100 ან 200 მმ სიგრძის პოლარიმეტრული მილები. გარედან გლუკოზიმეტრის თავაკს გააჩნია ოკულარი 7 ხედვის არის დაკვირვებისათვის და ოკულარი 13 ხელსაწყოს სკალის ჩვენებების ათვლისათვის. ნონიუსის ხრახნი 14 სკალის ნულოვან მდგომარეობაში დასაყენებლად განლაგებულია თავაკის ზურგის მხარეზე. კრემალიერული გადაცემის საბელურები 16 სოლისა და სკალის გადაადგილებისათვის განლაგებულია თავაკის ქვედა ნაწილში.

ПГ ტიპის პოლარიმეტრ-გლუკოზიმეტრით წყალხსნარში გლუკოზის შემცველობის განსაზღვრის მეთოდიკა: გლუკოზიმეტრის მომზადება იწყება მისი ნულოვან მდგომარეობაში დაყენებით. ამისათვის კამერიდან უნდა ამოვიღოთ პოლარიმეტრული მილი და კრემალიერის სახელურის შემოტრიალებით მივიღოთ ხედვის არის ორივე ნახევრის ერთნაირი განათებულობა და შეფერილობა. ამ დროს სკალისა და ნონიუსის ნულოვანი დანაყოფები უნდა დაემთხვეს ერთმანეთს. წინააღმდეგ შემთხვევაში სკალა უნდა დავაყენოთ ნულზე. ამისათვის სპეციალური კვადრატული გასაღებით შემოვატრიალოთ ხრახნი 17 სკალისა და ნონიუსის ნულოვანი დანაყოფების დამთხვევამდე. ამის შემდეგ შეგვიძლია შევუდგეთ განსაზღვრას.

თუ გამოსაკვლევი უცნობი კონცენტრაციის გლუკოზის წყალხსნარი შეფერილი არ არის, ამოვირჩიოთ 200 მმ სიგრძის პოლარიმეტრული მილი, თუ შეფერილია — 100 მმ სიგრძისა. გლუკოზის ინტენსიურად შეფერილი ხსნარები შეგვიძლია განვაზავოთ 2-ჯერ, მაგრამ ეს გამოიწვევს განსაზღვრის ცდომილების შემცირებას.

ამოვხრახნოთ ქანჩები პოლარიმეტრული მილის ორივე მხრიდან, მოვხსნათ საფარი მინები. საგულდაგულოდ გამოვრეცხოთ გამოხდილი წყლით პოლარიმეტრული მილი და გავაშრალოთ. საფარ მინებსაც მოვავლოთ გამოხდილი წყალი და გავაშრალოთ საფილტრავი ქაღალდით.

გავავსოთ პოლარიმეტრული მილი გლუკოზის საანალიზო სითხით. ამისათვის პოლარიმეტრული მილის ცალ მხარეს დავაფაროთ საფარი მინა და მივაჭიროთ ქანჩით. საანალიზო ხსნარით გავავსოთ პოლარიმეტრული მილი კიდეებამდე, ხსნარიდან მოვაცილოთ ჰაერის ბუშტულები მილზე თითის დარტყმით. ჩამოვაფაროთ მეორე საფარი მინა სითხის ამოწეული ზედმეტი ნაწილის „მოჭრით", მივაჭიროთ ის ქანჩით.

ჩავაყენოთ საანალიზო ხსნარის შემცველი პოლარიმეტრული მილი გლუკოზიმეტრის კამერაში, დავახუროთ სახურავი, შემოვაბრუნოთ კრემალიერის თავაკი ხედვის არის ორივე ნახევრის თანაბარი განათების მიღებამდე. ПГ ტიპის პოლარიმეტრ-გლუკოზიმეტრის სკალა სპეციალურია. ამიტომ საანალიზო ხსნარში გლუკოზის პროცენტული შემცველობის მისაღებად სკალის ჩვენება უნდა გავამრავლოთ კოეფიციენტზე 0,328 (200 მმ სიგრძის პოლარიმეტრული მილის გამოყენების შემთხვევაში). თუ განსაზღვრისათვის გამოყენებულია 100 მმ სიგრძის პოლარიმეტრული მილი, მაშინ მიღებული შედეგი უნდა გავამრავლოთ ორზე.

თუ პოლარიმეტრული მილის შევსებამდე საანალიზო ხსნარი განვაზავეთ, მაშინ გლუკოზის მასური წილი უნდა გავზარდოთ იმდენჯერ, რამდენჯერაც განზავდა ხსნარი.

სამუშაოს დამთავრების შემდეგ გადმოვასხათ საანალიზო ხსნარი პოლარიმეტრული მილიდან, გამოვრეცხოთ ის და საფარი მინები, გავამშრალოთ საფილტრავი ქაღალდით.

2.2.3. ქრომატოგრაფიული ანალიზი

ქრომატოგრაფია ნივთიერებათა და მათი ნარევების დაყოფის, ანალიზისა და კვლევის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდია. ქრომატოგრაფიული დაყოფის საფუძველია ნარევთა კომპონენტების ადსორბციისა (შთანთქმა) და დესორბციის (გამოყოფა) პროცესების სიჩქარეებს შორის განსხვავება. პირობითად პროცესი შეიძლება დაიყოს ადსორბცია-დესორბციის ელემენტარული სტადიების გარკვეულ რაოდენობად. იმის გამო, რომ სხვადასხვა მოლეკულისათვის ადსორბცია — დესორბციის პროცესების სიჩქარეები მცირედ მაინც განსხვავებულია ერთმანეთისაგან, ასეთი ელემენტარული აქტების მრავალჯერადი გამეორება იწვევს მათ დაყოფას.

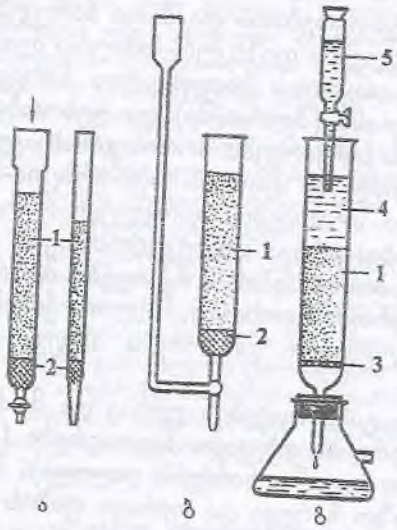
ქრომატოგრაფიაში განასხვავებენ უძრავ და მოძრავ ფაზას. უძრავი ფაზაა მყარი ან თხევადი ნივთიერება (როგორზედაც მიმდინარეობს რთული ნარევის დაყოფა), მოძრავი ფაზა კი — საანალიზო ნარევი და უძრავი ფაზის ფენის გასწვრივ მისი გადამტანი ნივთიერება. მოძრავი ფაზის აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით ქრომატოგრაფია არის თხევადი, აირული და თხევად-აირული.

2.2.3.1. თხევადი ქრომატოგრაფია

მრავალკომპონენტიანი სისტემების რაოდენობითი ანალიზისათვის გამოიყენება ქრომატოგრაფიული ანალიზის შემდეგი ძირითადი სახეები: ადსორბციული, იონმიმოცვლითი, განაწილებითი, ნალექოვანი ქრომატოგრაფია. უფრო დეტალურად შევჩერდეთ პირველი ორი სახის განხილვაზე.

ადსორბციული ქრომატოგრაფია დაფუძნებულია ნარევის ცალკეული კომპონენტის ამორჩევით ადსორბციაზე მყარი ფხვნილისებრი ადსორბენტით. ადსორბციული ქრომატოგრაფია სრულდება ფრონტალური, გამოძევებითი და ელუენტური ხერხებით.

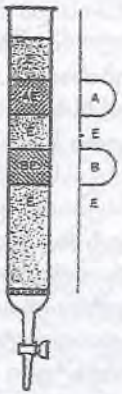
ფრონტალური ხერხის დროს ნივთიერებათა ნარევის გამოსაკვლევ ხსნარს უწყვეტად აწვდიან ქრომატოგრაფიული სვეტის (ნახ.183) ზედა ნაწილში და აგროვებენ ფილტრატის ცალკეულ ფრაქციებს. A და B კომპონენტების შემცველი სისტემის ანალიზის დროს სვეტიდან ჯერ გამოედინება სუფთა გამხსნელი; შემდეგ სორბენტის გაჯერებისას სვეტიდან გამოედინება ნაკლებად სორბირებადი კომპონენტის (მაგალითად, B კომპონენტის შემცველი ხსნარი. ბოლოს A კომპონენტით სორბენტის გაჯერების შემდეგ გამოედინება ორივე კომპონენტის შემცველი ხსნარი. ფრონტალური ხერხით სუფთა სახით შეგვიძლია მივიღოთ მხოლოდ ყველაზე უფრო ნაკლებად სორბირებადი ნივთიერება. გამოსაკვლევი ნარევის სრული დაყოფა შემადგენელ კომპონენტებად აქ შეუძლებელია.



ნახ. 183. ქრომატოგრაფიული სვეტების ფორმები: ა-ცილინდრული; ბ-სვეტი სითხის დამავალი ნაკადით; გ-ვაკუუმის ქვეშ მომუშავე ცილინდრული სვეტი.
1-სორბენტი; 2-მინის ბამბა; 3-მინის მფილტრავი ტიხარი; 4-გამხსნელი, გამამჟღავნებელი (ელუენტი); 5-გამყოფი ძაბრი

გამოძევებითი ხერხით მუშაობისას სვეტში შეაქვთ მრავალკომპონენტიანი ნარევის ხსნარის პორცია და უფრო მეტად სორბირებადი ნივთიერებით აძევებენ ნაკლებად სორბირებად კომპონენტებს. ამ დროს კარგად სორბირებადი ნივთიერება მიმდევრობით გამოაძევებს სვეტიდან მრავალკომპონენტიანი ნარევის კომპონენტებს მათი ამორჩევითი სორბირების უნარის შესაბამისად. პირველი და შემდგომი კომპონენტების ზონებს შორის მივიღებთ შუალედურ ზონას, რომელიც შეიცავს ამ კომპონენტების ნარევს.

ელუენტური ხერხის დროს სვეტში შეაქვთ A,B,E და ა.შ. კომპონენტების ნარევი და მიიღებენ ქრომატოგრამას, რომელშიც კომპონენტების მდგომარეობა სვეტის გასწვრივ გადაფარებად ზონებში შეესაბამება მათ სორბირებადობას, მაგალითად, A,B,E (ნახ.184). ქრომატოგრამის ქვედა ზონა შეიცავს სუფთა E ნივთიერებას. სორბენტის ჩარეცხვისას სუფთა გამხსნელით ხდება ნარევის კომპონენტების გადაადგილება. კომპონენტები გამოირეცხება (ხდება მათი ელუირება) მათი სორბირებადობის ზრდის მიხედვით, ე.ი. ჯერ ხდება E კომპონენტის გამორეცხვა, შემდეგ B და, ბოლოს, A კომპონენტისა.



ნახ.184

თუ ორდინატთა ღერძზე გადავდებთ გამოსარეცხი ნივთიერების კონცენტრაციას, ხოლო აბსცისათა ღერძზე— დროს ან სვეტში გასული ნაკადის სიდიდეს, ავაგებთ ელუენტური ანალიზის გრაფიკს.

იონმიმოცვლითი ქრომატოგრაფია დაფუძნებულია გამოსაკვლევ ხსნარში არსებული იონების შექცევად მი-

ძოცვლაზე ადსორბენტის "შედგენილობაში "შეშავალ ძვრად იონებთან, ე.ი. ხსნარებსა და სორბენტს შორის იონების მიმოცვლის რეაქციაზე. ადსორბენტებს, რომლებსაც ძალუძთ თავისი იონების მიმოცვლა გახსნილი ნივთიერებების იონებთან იონიტებს უწოდებენ. ასხვავებენ კატიონიტებს, რომლებიც ცვლიან თავის მოძრავ იონებს გახსნილი ნივთიერებების კატიონებზე და ანიონიტებს, რომლებიც ახდენენ ანიონების მიმოცვლას ხსნართან.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით იონიტები იყოფა მინერალური და ორგანული წარმოშობის იონმიმოცვლით სორბენტებად. მინერალურ კატიონიტებს მიეკუთვნება ალუმინის ჟანგეული $(Al_2O_3)_m \cdot AlO_2 \cdot Na$, ტუტე სილიკაგელი, ცირკონიუმფოსფატი და სხვ.

იონმიმოცვლითი რეაქციის მიმდინარეობისათვის კატიონიტები უნდა გადავიყვანოთ H -ფორმაში, რომელიც შეიცავს H^+ იონებს, ხოლო ანიონიტები — OH ან ქლორიდულ ფორმაში, რომელიც შეიცავს OH ან Cl იონებს. H-ან OH-ფორმაში გადაყვანა ხდება სორბენტის დამუშავებით HCl-ის და $NaOH$-ის ხსნარებით.

მომზადებული სორბენტით ავსებენ ქრომატოგრაფირებისათვის განკუთვნილ სვეტს, მასში ატარებენ საანალიზო ხსნარის 5-10 $სმ^3$. სითხის გამოდენის სიჩქარეა 20-25 წვეთი წუთში.

სორბენტით სხვადასხვა ნივთიერებების შთანთქმაში არსებითი განსხვავებაა. ამის გამო სორბენტით გავსებულ სვეტში ფილტვრისას შეინიშნება ამორჩევითი ადსორბცია, ე.ი. ძლიერად სორბირებული ნივთიერებები შთაინთქმება სვეტის დასაწყისშივე, ხოლო ნაკლებად სორბირებული — გადაადგილდება უფრო შორს. თუ ამ დროს ნარევის კომპონენტები შეფერილია, მაშინ მივიღებთ რამდენიმე ფერად ზონას, რომლებიც განლაგებულია გარკვეული მიმდევრობით და შეადგენს ე.წ. ქრომატოგრამას. ეს უკანასკნელი საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ ნარევში მყოფი ნივთიერებების თვისებითი და რაოდენობითი შედგენილობის შესახებ.

თუ ალუმინის ჟანგეულით (თეთრი ნივთიერებაა) შევსებულ სვეტში გავატარებთ სპილენძისა და კობალტის ნიტრატების $Cu(NO_3)_2$ და $Co(NO_3)_2$ ნარევს, სვეტის ზედა ნაწილში გაჩნდება ცისფერი ზონა Cu^{2+} , ქვევით ვარდისფერი ზონა Co^{2+} და სულ ქვევით უფერული ზონა Na^+ (ნახ.185).

ხსნარის შემდგომი ფილტვრისას ხდება შეფერილი ზონების თანდათანობითი ზრდა და ისინი იკავებენ მთელ სვეტს. თუ გავაგრძელებთ ხსნარის გატარებას, ფილტრში ჯერ ჩავა ნატრიუმის მარილი, შემდეგ ჩაედინება კობალტის შემცველი ვარდისფერი ფილტრატი (რომელიც არ შეიცავს Cu^{2+} იონს).



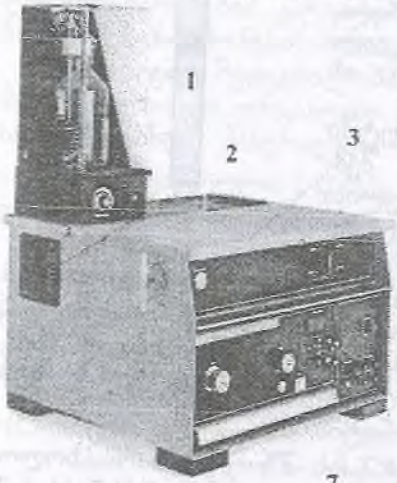
ნახ.185.იონების ქრომატოგრამა:1-ცისფერი ზონა Cu^{2+}; 2-ვარდისფერი ზონა Co^{2+}; 3-უფერული ზონა Na^+

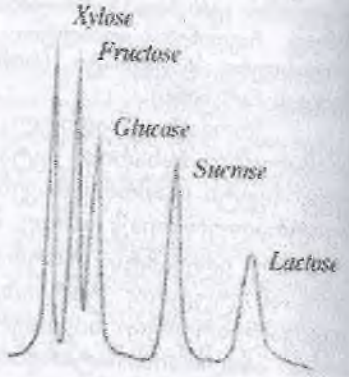
ქრომატოგრაფიულ სვეტში საანალიზო ხსნარის შეტანის შემდეგ სვეტს გამორეცხავენ წყლით ნეიტრალურ რეაქციამდე. მთელ მიღებულ ელუანტს ტიტრავენ მჟავით ან ტუტით. ტიტრანტის მასა ეკვივალენტურია ნივთიერების მასისა. ანალიზის ჩატარების შემდეგ ახდენენ იონმიმომცვლელის რეგენერაციას, რისთვისაც კატიონიტის შემცველ სვეტში ატარებენ HCL-ის 3%-იან ხსნარს, ხოლო ანიონიტის შემცველ სვეტში —$NaOH$ -ის 2%-იან ხსნარს. ამ დროს მოხდება იონმიმომცვლელის H- და OH- ფორმების აღდგენა. სორბენტების გამოხდილი წყლით ნეიტრალურ რეაქციამდე გამორეცხვის შემდეგ მათ განმეორებით იყენებენ ანალიზისათვის.

თხევადი ქრომატოგრაფიის მეთოდებზე დამყარებით შექმნილია შესაბამისი ავტომატიზებული ხელსაწყოები (დანადგარები) — სითხის ქრომატოგრაფები, რომლებშიც სინჯის მიწოდებიდან დაწყებული შედეგის მიღებამდე ყველაფერი ხდება ავტომატურად და მთელი პროცესი იძართება მიკროპროცესორებით. ფერადი განაწილების (ქრომატოგრამის მაგივრად) აქ სპეციალური მადეტექტირებელი მოწყობილობების საშუალებით (გამდინარე რეფრაქტომეტრები ან შთანთქმის დეტექტორები ულტრაიისფერ არეში) საანალიზო ნარევის შემადგენელი ყოველი დაცალკევებული კომპონენტის შესაბამისი სიგნალი აღიქმება და

გაძოისახება ლენტზე სათანადო პიკების სახით (ნახ.18/). ასეთ ჩანაწერსაც ქრომატოგრამას უწოდებენ.

სითხის თანამედროვე ქრომატოგრაფებში თითქმის ყველა ოპერაცია ავტომატიზებულია. მაგალითის სახით განვიხილოთ შვეციის ფირმა Tecator-ის მიერ გამოშვებული სითხის ქრომატოგრაფი Optilab 5931 (ნახ.186). ის გან-





ნახ.187. Optilab 5931 სითხის ქრომატოგრაფზე მიღებული ქრომატოგრამები

ნახ.186. სითხის ქრომატოგრაფი: 1-ელუენტის რეზერვუარი; 2-თერმოსტატი რეგულატორით; 3-სვეტების საკონტროლო სახელურები; 4-ციფრული ინდიკატორი ტემპერატურისა და წნევისათვის; 5-მგრძნობიარობის რეგულატორი; 6-დაკალიბრების კონტროლი; 7-დროის მუდმივას რეგულატორი; 8-სატუმბი სისტემა

კუთვნილია უნივერსალური დეტექტირებისათვის ნანოგრამების დონეზე. ნახშირწყლებისა და ცხიმების ანალიზის შემთხვევაში ნივთიერების აღმოჩენის ზღვარია 10 ნგ. სინჯის მოცულობა აქ შედარებით მცირეა და დასაშვებია ამ სინჯში განსასაზღვრი ელემენტის მცირე შემცველობა. მაგალითად 187-ე ნახაზზე მოცემულია ამ ხელსაწყოთი გადებული ქრომატოგრამა, როდესაც საანალიზო შაქრის სინჯის მოცულობა იყო სულ 5 მკლ, თითოეული პიკი კი შეესაბამებოდა საანალიზო შაქრის 500 ნანოგრამს.

2.2.3.2. აირული ქრომატოგრაფია

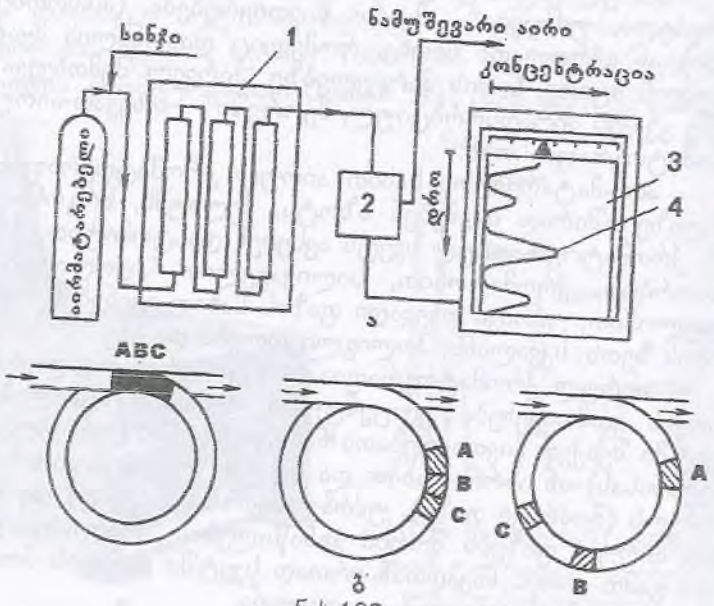
აირულ ქრომატოგრაფიაში მოძრავი ფაზაა აირ-მატარებელი, უძრავი — მყარი ნივთიერებები (ადსორბენტები) ან აქროლადი სითხე, რომელიც დაფენილია მყარი სხეულის მცირე ზომის მარცვლებზე. პირველ შემთხვევაში საქმე გვაქვს აირადსორბციულ, მეორეში — თხევად-აირულ ქრომატოგრაფიასთან.

აირ-მატარებლის სახით აირულ ქრომატოგრაფიაში ყველაზე ხშირად იყენებენ აზოტს, ჰელიუმს, არგონს და სხვ. ქრომატოგრაფიულ სვეტს ავსებენ დიატომიტით, ქრომოსორბით, ქრომატონით, სილიკაგელით, ცეოლიტებით, ტეფლონით; უძრავი თხევადი ფაზის სახით იყენებენ სილიკონის ზეთს, სკვალანს, პოლიგლიკოლებს და სხვ.

აირულ ქრომატოგრაფიაში ნივთიერებათა დაყოფისათვის გამოიყენება ელუენტური ხერხი. გაცხელებულ სვეტში შეაქვთ ნივთიერებათა ნარევი სითხის (ორთქლდება შეტანისას) ან აირის სახით და სვეტში უშვებენ აირ-მატარებელს (მოძრავი ფაზა). უძრავ (მყარ ან თხევად) და მოძრავ აირულ ფაზებს შორის განაწილების სხვადასხვა უნარის გამო აირის ნაკადთან ერთად სვეტში ნარევის მოძრაობისას ხდება ნივთიერებათა დაყოფა.

ქრომატოგრაფიული პროცესები ხორციელდება სპეციალური ხელსაწყოებით. აირის ქრომატოგრაფის ფუნქციური სქემა მოცემულია 188-ე ნახაზზე. აირ-მატარებლის დამყარებულ ნაკადში წარმოებს საკვლევი აირის ნარევის ან სითხის ზუსტად დოზირებული პორციის — სინჯის შეშვება. აირისებრი (1-50 სმ^3) და თხევადი (რამდენიმე მიკროლიტრი) სინჯი შეაქვთ ხელით ან ავტომატურად. სინჯი აირ-მატარებელთან ერთად მოხვდება ქრომატოგრაფიულ სვეტში 1, სადაც მოძრაობს სორბენტის ფენის გასწვრივ. სორბენტით ხდება საანალიზო სინჯის ყოველი კომპონენტის მოლეკულების შთანთქმა. თუ აირულ ფაზაში ყოველი კომპონენტის მოლეკულები ატარებენ ერთნაირ დროს (აირის ნაკადთან ერთად მოძრაობისას), სორბენტის შრეზე მათი ყოფნის დრო სხვადასხვაა და განისაზღვრება მოლეკულათშორისი ურთიერთქმედებების ხასიათით.

აირმატარებელი დროთა განმავლობაში დაიწყებს ჯერ იმ კომპონენტების მოლეკულების ამორეცხვას, რო-

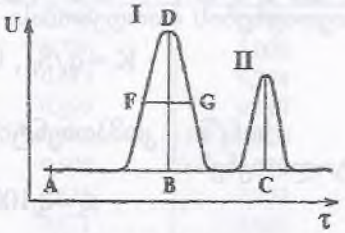


ნახ.188

მელთა სორბციის უნარი უმცირესია, შემდეგ ამოირეცხება მეორე, მესამე კომპონენტის მოლეკულები შესაბამისად მეტი სორბციის უნარით. ხდება კომპონენტების სივრცითი დაყოფა აირ-მატარებლის ნაკადში. შეიქმნება საანალიზო კომპონენტების ორკომპონენტიანი (ბინარული) ნარევების უბნები აირ-მატარებელთან. ამავე დროს საანალიზო კომპონენტების კონცენტრაცია უბნების ფარგლებში არათანაბარია (მეტია უბნების შუა ნაწილში). დაყოფის პროცესი სქემატურად ნაჩვენებია 188,ბ ნახაზზე. აქ **A,B,C** ნარევის სხვადასხვა კომპონენტებია. დაყოფის საჭირო ხარისხის მიღწევა შესაძლებელია სორბენტის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების, ტემპერატურული და აირდინამიკური რეჟიმების, გეომეტრიული და სხვა პარამეტრის შერჩევით.

აირ-მატარებელი სივრცით დაცალკევებული კომპონენტებით მიეწოდება დეტექტორს 2 (ნახ.188,ა). ქრომატოგრაფის ყველაზე გავრცელებული დეტექტორებია თერმოკონდუქტომეტრული და იონიზაციური. პირველი სახის დეტექტორი (მაგალითად, კატარომეტრი) განსაზღვრავს ნივთიერებათა კონცენტრაციას 10^{-1} -10^{-2} %-ის ფარგლებში, მეორე სახისა — 10^{-4} -10^{-7} %-ის ფარგლებში. ორივეს ახასიათებს მაღალი მგრძნობიარობა, სელექტიურობა, ელექტრული სიგნალის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება საანალიზო კომპონენტის კონცენტრაციაზე. ვინაიდან კომპონენტის კონცენტრაცია არათანაბარია და იცვლება უბნის ფარგლებში გარკვეული კანონის მიხედვით, დეტექტორის გამოსასვლელზე სიგნალიც დროის მიხედვით შეიცვლება იგივე კანონის მიხედვით და რეგისტრატორის 3 მოძრავი დიაგრამის ლენტზე მივიღებთ ქრომატოგრამას — ნარევის დაყოფის პროცესის უწყვეტ ჩაწერას და ცალკეული შემადგენლების გამოსავალს ქრომატოგრაფიული პიკების სახით ხელსაწყოს ლენტზე.

ვიდრე სვეტიდან გამოდის სუფთა აირ-მატარებელი, ქრომატოგრამაზე (ნახ.189) გამოიხაზება წრფე (ნულოვანი ხაზი), განსაცალკევებელი ნარევის შედარებით აქროლად კომპონენტს შეესაბამება პიკი I, მეორე კომპონენტს — პიკი II და ა.შ.



ნახ.189.ქრომატოგრამა

ქრომატოგრაფში წინასწარ ატარებენ აირ-მატარებლის სტანდარტულ ნარევებს განსასაზღვრი კომპონენტის ცნობილ რაოდენობებთან, ზომავენ მიღებული პიკების სიმაღლეს და აგებენ საკალიბრებელ მრუდს კოორდინატებში: პიკის სიმაღლე —კონცენტრაცია. შემდეგ ერთგვაროვან პირობებში ქრომატოგრაფში ატარებენ საანალიზო ხსნარს, ზომავენ პიკის სიმაღლეს და საკალიბრებელი მრუდით მოძებნიან განსაზღვრი კომპონენტის შემცველობას.

შედარებით უფრო ზუსტია გამოანგარიშება პიკის ფართობის მიხედვით, ვინაიდან პიკის ფართობი გამოყოფილი კომპონენტის რაოდენობის პროპორციული ინტეგრალური სიდიდეა. ყველა პიკი (მთელი დიაგრამის სრული ინტეგრალი შეესაბამება 100% კონცენტრაციას. აქედან გამომდინარე გამოითვლება კომპონენტების პროცენტული შედგენილობა.

ცნობილია პიკის ფართობის გაზომვის რამდენიმე ხერხი: 1) პიკის სიმაღლის გამრავლებით პიკის სიგანეზე მისი სიმაღლის ნახევრის დონეზე (S=BD·FG); 2) პლანიმეტრით.

ანალიზის შედეგების დამუშავება ხდება აბსოლუტური დაკალიბრების, შიგა ნორმირების ან შიგა სტანდარტის მეთოდით.

აბსოლუტური დაკალიბრების მეთოდი. ნივთიერებათა სტანდარტების მიხედვით აგებენ პიკის S_i ფართობის ქრომატოგრაფში შეტანილი ნივთიერების q_i მასაზე დამოკიდებულების საკალიბრებელ მრუდს. მრუდის მიხედვით საზღვრავენ საკალიბრებელ K_i კოეფიციენტს (კუთხურ კოეფიციენტს) — პიკის ფართობის ერთეულის შესაბამის ნივთიერების რაოდენობას:

$$K_i=q_i/S_i \text{ , საიდანაც } q_i=K_i\cdot S_i \text{ .}$$

სინჯში კომპონენტის შემცველობა პროცენტებში ტოლი იქნება

$$x_i=q_i100/Q=K_iS_i100/Q \text{ ,}$$

სადაც Q სინჯის მასაა, გ; q_i — კომპონენტის მასა , გ; S_i — კომპონენტის პიკის ფართობი, სმ^2; K_i — საკალიბრებელი კოეფიციენტი, გ/სმ^2.

შიგა ნორმირების მეთოდი. ეს მეთოდი ითვალისწინებს დეტექტორის მგრძნობიარობის სხვადასხვაობას ნარევის კომპონენტების მიმართ. კომპონენტების კონცენტრაცია პროცენტებში გამოითვლება ფორმულებით, რომლებიც შეიცავენ სტანდარტული ნივთიერების მიმართ განსაზ-

ღვრულ მოცემული ნივთიერების საკალიბრებელ კოეფიციენტებს:

$$x_i=\frac{S_iK_i100}{\sum_n S_iK_i} \text{ ან } x_i=\frac{h_iK_i100}{\sum_n h_iK_i} \text{ ,}$$

სადაც x_i კომპონენტის შემცველობაა ნარევში, %; S_i — კომპონენტის პიკის ფართობი სმ^2; h_i —კომპონენტის პიკის სიმაღლე, მმ; K_i —საკალიბრებელი კოეფიციენტი, რომელსაც ეძებენ ცნობილი ნივთიერების მიხედვით, მგ/სმ^2.

პროცენტული შემცველობის გაანგარიშებისათვის K_i-ის მაგივრად იყენებენ $K_i'=K_i/K_{სტ}$, სადაც K_i' მასწორებელი კოეფიციენტია; K_i და $K_{სტ}$ შესაბამისად საანალიზო ნივთიერებებისა და სტანდარტად მიჩნეული ნივთიერებების საკალიბრებელი კოეფიციენტებია.

მაგალითი. მოძებნეთ ჰექსანის, ბენზოლის, ტოლუოლის, ეთანოლის, პროპანონის, ბუტანოლის, ეთილაცეტატის, ბუტილაცეტატის, აცეტონის საკალიბრებელი და მასწორებელი კოეფიციენტები ხელოვნური ნარევის ქრომატოგრამის მიხედვით (სტანდარტად მივიღოთ ბენზოლი). ანგარიში მოცემულია ცხრილში

კომპონენტები	q_i, მგ	S_i, სმ^2	$K_i=q_i/S_i$, მგ/სმ^2	$K_i'=K_i/K_{ს ტ}$
ჰექსანი	10,05	18,4	0,546	0,700
ბენზოლი	30,81	39,5	0,780	1,000
ტოლუოლი	10,03	16,2	0,619	0,794
ეთანოლი	14,37	28,8	0,499	0,640
პროპანონი	12,98	23,1	0,562	0,720
ბუტანოლი	8,65	14,2	0,609	0,780
ეთილაცეტატი	9,30	15,1	0,616	0,790
ბუტილაცეტატი	6,84	10,2	0,671	0,860
აცეტონი	6,69	12,6	0,531	0,680

მაგალითი. შიგა ნორმირებისა და აბსოლუტური დაკალიბრების მეთოდის გამოყენებით განვსაზღვროთ ნივთიერებათა შემცველობა პროცენტებში, თუ პიკების ფართობებია: ჰექსანისათვის—12,00; ბენზოლისათვის—10,50; ეთანოლისათვის—22,97; ეთილაცეტატისათვის — 10,63 სმ^2. მასწორებელი და საკალიბრებელი კოეფიციენტები ავიღოთ წინა მაგალითიდან.

ამოხსნა: მასწორებელი K_i' კოეფიციენტის გამოყენებით განვსაზღვროთ:

$S_{\text{ჰექსანი}} = 12{,}00 \cdot 0{,}70 = 8{,}40$ სმ²; $x_{C_6H_{14}} = \frac{8{,}40}{42} \cdot 100 = 20\%$;

$S_{\text{ბენზოლი}} = 10{,}50 \cdot 1{,}0 = 10{,}50$ სმ²; $x_{C_6H_6} = \frac{10{,}50}{42} \cdot 100 = 25\%$;

$S_{\text{ეთანოლი}} = 22{,}97 \cdot 0{,}64 = 14{,}70$ სმ²; $x_{C_2H_5OH} = \frac{14{,}70}{42} \cdot 100 = 35\%$;

$S_{\text{ეთილაცეტატი}} = 10{,}63 \cdot 0{,}79 = 8{,}40$ სმ²; $x_{CH_3COOC_2H_5} = \frac{8{,}40}{42} \cdot 100 = 20\%$.

$\Sigma = 42{,}0$ სმ²

საკალიბრებელი K_i კოეფიციენტის გამოყენებით განვსაზღვროთ:

$q_{\text{ჰექსანი}} = 12{,}00 \cdot 0{,}546 = 6{,}55$ მგ; $x = \frac{6{,}55}{32{,}75} \cdot 100 = 20\%$;

$q_{\text{ბენზოლი}} = 10{,}50 \cdot 0{,}780 = 8{,}19$ მგ; $x = \frac{8{,}19}{32{,}75} \cdot 100 = 25\%$;

$q_{\text{ეთანოლი}} = 22{,}97 \cdot 0{,}499 = 11{,}46$ მგ; $x = \frac{11{,}46}{32{,}75} \cdot 100 = 35\%$;

$q_{\text{ეთილაცეტატი}} = 10{,}63 \cdot 0{,}616 = 6{,}55$ მგ; $x = \frac{6{,}55}{32{,}75} \cdot 100 = 20\%$.

$\Sigma = 32{,}75$ მგ

შიგა სტანდარტის მეთოდი. ირჩევენ სტანდარტულ ნივთიერებას, რომლის პიკი ქრომატოგრამაზე იმყოფება განსასაზღვრავი ნივთიერების პიკის მახლობლად. ახდენენ სტანდარტის ცნობილი $q_{ст}$ და განსასაზღვრავი ნივთიერების $q_{ნ}$ რაოდენობების ქრომატოგრაფირებას. ადგენენ გრაფიკულად (რამდენიმე გაზომვის მიხედვით) ან ალგებრული გზით პროპორციულ დამოკიდებულებას და მოძებნიან K კოეფიციენტს:

$$\frac{S_{ნ}}{S_{ст}} = K\frac{q_{ნ}}{q_{ст}}; \qquad K = \frac{S_{ნ} \cdot q_{ст}}{q_{ნ} \cdot S_{ст}}.$$

შემდეგ ახდენენ სტანდარტის განსაზღვრული რაოდენობის შემცველი საანალიზო ნარევის ქრომატოგრაფირებას ნივთიერების პიკების $S_{ნ}$ ფართობის გაზომვით და გამოითვლიან ნარევში ნივთიერების q_x შემცველობას ფორმულით:

$$q_x = S_{ნ}\, q_{ст} / (S_{ст} \cdot K).$$

მაგალითი. შიგა სტანდარტის მეთოდით ნარევში ნივთიერების შემცველობის ანალიზისას მიღებულია შემდეგი მონაცემები: ქრომატოგრამის დაკალიბრებისას $q_{ნ}$=0,00520 გ, $S_{ნ}$=5,36 სმ², $q_{ст}$=0,00680 გ, $S_{ст}$=8,41 სმ², ანალიზის ჩატარებისას $S_{ნ}$=6,48 სმ², $V_{ნ}$=32 მმ³, $q_{ст}$=0,0049 გ, $S_{ст}$=6,06 სმ². განვსაზღვროთ ნივთიერების შემცველობა სინჯში.

ამოხსნა: გამოვიანგარიშოთ მანორმირებელი კოეფიციენტი K:

$$K = \frac{S_{ნ} \cdot q_{ст}}{S_{ст} \cdot q_{ნ}} = \frac{5{,}36 \cdot 0{,}0068}{8{,}41 \cdot 0{,}0052} = 0{,}835.$$

განვსაზღვროთ ნივთიერების შემცველობა გრამებში:

$$q_x = \frac{S_{ნ} \cdot q_{ст}}{S_{ст} \cdot K} = \frac{6{,}48 \cdot 0{,}0049}{6{,}06 \cdot 0{,}835} = 0{,}00627 \text{ გ}.$$

გამოვიანგარიშოთ ნივთიერების შემცველობა პროცენტებში:

0,00627 გ —— 0,032 სმ³

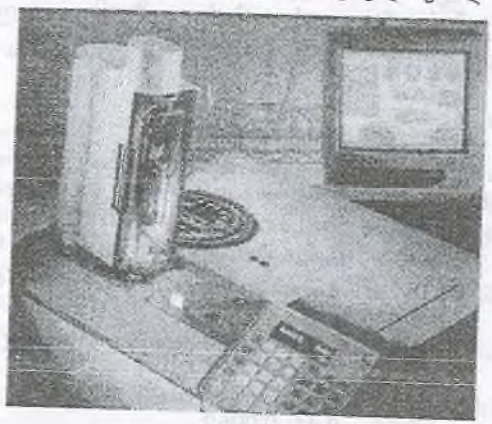
x „ —— 100 „

$$x\,\frac{0{,}00627 \cdot 100}{0{,}032} = 19{,}6\%.$$

ექსპერტიზის ლაბორატორიებში ამჟამად ფართოდ გამოიყენება <<Цвет>> და <<Хром>> ტიპის ქრომატოგრაფები. არსებობს აირის ქრომატოგრაფების სერია, რომლებსაც უშვებენ იაპონიის, ამერიკის შეერთებული შტატების და გერმანიის ფირმები. ამერიკის შეერთებული შტატების ფირმა Perkin-Elmer-ის აირის ქრომატოგრაფი AutoSystem XL (ნახ.190) წარმოადგენს მთლიანად ავტომატიზებულ ხელსაწყოს. ტემპერატურული და სხვა პარამეტრების კონტროლი ხდება მიკროპროცესორებით და სათანადო პარამეტრები გამონათდება დისპლეიზე. მასში გამოყენებულია სხვადასხვა დეტექტორები (მაგალითად, ფოტოიონიზაციური).

აირის ქრომატოგრაფების დეტექტორებს გააჩნიათ გაცილებით უფრო მაღალი მგრძნობიარობა, ვიდრე სითხის

ქრომატოგრაფის დეტექტორებს. ქრომატოგრაფიაში ჩატარებული ანალიზის სიზუსტე მნიშვნელოვნად არის დამოკი-



ნახ.190

დებული დეტექტორის სამუშაო რეჟიმის და ექსპერიმენტის პირობების სწორ შერჩევაზე.

2.2.4. რადიომეტრული ანალიზი

რადიომეტრული ანალიზი ნივთიერების ქიმიური შედგენილობის ანალიზის მეთოდია, რომელიც დაფუძნებულია რადიოაქტიური იზოტოპებისა და ბირთვული გამოსხივების გამოყენებაზე. რადიომეტრულ ანალიზში ნივთიერებათა შედგენილობის თვისებითი და რაოდენობითი განსაზღვრისათვის გამოიყენება რადიომეტრული ხელსაწყოები.

ასხვავებენ რადიომეტრული ანალიზის რამდენიმე ხერხს: პირდაპირ რადიომეტრულ განსაზღვრას, რადიომეტრულ ტიტვრას, იზოტოპური განზავების მეთოდს, აქტივაციურ ანალიზს, ფოტონეიტრონულ მეთოდს და სხვ.

პირდაპირი რადიომეტრული განსაზღვრა დაფუძნებულია განსასაზღვრავი იონის დალექვაზე უხსნადი ნალექის სახით ცნობილი კონცენტრაციის რეაგენტის სიჭარბით; ეს რეაგენტი უნდა შეიცავდეს ცნობილი კუთრი აქტი-

ურობის რადიოაქტიურ იზოტოპს. დალექვის შემდეგ ადგენენ ნალექის ან რეაგენტის სიჭარბის რადიოაქტიურობას.

რადიომეტრული ტიტვრა დაფუძნებულია იმაზე, რომ ხსნარში განსასაზღვრავი იონი ქმნის რეაგენტთან მცირედ ხსნად და ადვილად ექსტრაჰირებად ნაერთს. ტიტვრისას რეაგენტის დამატებისას პირველ შემთხვევაში იცვლება ხსნარის რადიოაქტიურობა, ხოლო მეორეში — ხსნარის ან ექსტრაგენტის რადიოაქტიურობა. ეკვივალენტურობის წერტილი განისაზღვრება დახარჯული რეაგენტის მოცულობასა და სატიტრი ხსნარის (ან ნალექის) რადიოაქტიურობას შორის დამოკიდებულების ამსახველი ტიტვრის მრუდის გადაღუნვის მიხედვით. რადიოაქტიური იზოტოპის შეტანა შესაძლებელია რეაგენტში ან განსასაზღვრავ ნივთიერებაში, აგრეთვე ორივეში ერთად.

იზოტოპური განზავების მეთოდი დაფუძნებულია მოცემული ელემენტის იზოტოპების ქიმიური რეაქციების იგივეობაზე. მისი განხორციელებისათვის საანალიზო ნარევს უმატებენ განსასაზღვრავი ნივთიერების გარკვეულ m_0 რაოდენობას, რომელიც თავის შედგენილობაში შეიცავს რადიოაქტიურ იზოტოპს ცნობილი I_0 რადიოაქტიურობით. შემდეგ გამოყოფენ ნებისმიერი ხერხით (მაგალითად, დალექვით, ექსტრაქციით, ელექტროლიზით) განსასაზღვრავი ნივთიერების რაიმე ნაწილს სუფთა სახით და ზომავენ მის m_1 მასას და I_1 რადიოაქტიურობას. საანალიზო ობიექტში საძიებელი ელემენტის საერთო შემცველობა m მოიძებნება პროპორციიდან

$$\frac{I_0}{I_1}=\frac{m+m_0}{m_1},\ \text{საიდანაც}\quad m=\frac{I_0}{I_1}m_1-m_0.$$

აქ $m+m_0$ საანალიზო ნარევში მყოფი და შეტანილი ნივთიერების მასათა ჯამია.

ფოტონეიტრონული მეთოდი დაფუძნებულია ქიმიური ელემენტის ატომის ბირთვზე მაღალი ენერგიის ფოტონების (γ -კვანტების) ზემოქმედებისას ნეიტრონების გამოსხივებაზე. ნეიტრონული დეტექტორებით განსაზღვრული ნეიტრონების რაოდენობა საანალიზო ელემენტის შემცველობის პროპორციულია.

დეტალურად შევჩერდეთ რადიომეტრული ანალიზის ერთ-ერთ ყველაზე განვითარებულ მიმართულებაზე – რადიოაქტივაციურ ანალიზზე.

რადიოაქტივაციური ანალიზი დაფუძნებულია საკვლევი ნივთიერების ატომის ბირთვის დასხივებაზე (აქტივაციაზე) ბირთვული ნაწილაკებით (ნეიტრონები, პროტონები, დეიტრონები, α-ნაწილაკები და ა.შ.) ან ხისტი γ სხივებით და შემდეგ შექმნილი ყოველი რადიოაქტიური იზოტოპის სახისა და აქტიურობის დადგენაზე სპეციალური აპარატურის საშუალებით.

დასხივებისათვის საანალიზო ნიმუშებს და ეტალონებს ათავსებენ კვარცის ბიუქსებში, რომლებსაც სპეციალური მოწყობილობების საშუალებით ჩამოუშვებენ რეაქტორის არხში. დასხივების დრო დამოკიდებულია ნაწილაკების ნაკადის ინტენსიურობაზე, განსასაზღვრავი ელემენტების რადიოაქტიური იზოტოპების ნახევრად დაშლის პერიოდზე და საჭირო მგრძნობიარობაზე. ის მერყეობს რამდენიმე საათიდან რამდენიმე კვირამდე.

ყოველ რადიოაქტიურ იზოტოპს გააჩნია ნახევრად დაშლის $T_{1/2}$ პერიოდი და გამოსხივების $E_{გამ}$ ენერგიის სპეციფიკური მნიშვნელობები, რომლებიც არასოდეს ემთხვევა სხვა იზოტოპების ანალოგიური მახასიათებლების მნიშვნელობებს.

ასე, მაგალითად, ნახშირბადის ატომები ^{12}C პროტონებით დასხივებისას გარდაიქმნება აზოტის რადიოაქტიურ იზოტოპად ^{13}N, რომელიც გამოასხივებს პოზიტრონებს და გააჩნია ნახევრად დაშლის საკმაოდ დიდი პერიოდი $T_{1/2}$=9,93 წუთი.

მახასიათებლები მოცემულია სათანადო ცხრილებში. ამიტომ, თუ განვსაზღვრავთ გამოსხივების სახეს და გავზომავთ აქტივირებულ ნიმუშში მყოფი იზოტოპების $E_{გამ}$ და (ან) $T_{1/2}$, ცხრილების დახმარებით შევძლებთ მათ იდენტიფიკაციას (ე.ი. დავადგენთ რიგით ნომერს და მასურ რიცხვს). ვინაიდან აქტივირების არჩეული ხერხის პირობებში კარგადაა ცნობილი ბირთვული რეაქციები, რომელთა შედეგადაც ვიღებთ ამა თუ იმ რადიოაქტიურ იზოტოპებს, ადვილად განვსაზღვრავთ, რომელი საწყისი იზოტოპებიდანაა მიღებული აქტივირებულ ნიმუშში აღმოჩენილი რადიოაქტიური იზოტოპები, ე.ი. განვსაზღვრავთ საკვლევი მასალის საწყის შედგენილობას.

რაოდენობითი აქტივაციური ანალიზის ჩატარებისათვის გამოიყენება ის გარემოება, რომ რადიოაქტიური იზოტოპის აქტიურობა ნიმუშის დასხივების შემდეგ ბირთვულ რეაქციაში მონაწილე საწყისი იზოტოპის ბირთვების რაოდენობის პროპორციულია. რაოდენობითი აქტივაციური ანალიზი შეიძლება ჩატარდეს აბსოლუტური ან ფარდობითი ხერხით.

პირველ შემთხვევაში ზომავენ იზოტოპის აბსოლუტურ აქტიურობას, ითვალისწინებენ იმ ფაქტორებს, რომლებზეც დამოკიდებულია მისი მნიშვნელობა (დასხივების დრო, დროის ერთეულში ნიმუშში გასული მააქტიურებელი ნაწილაკების რაოდენობა, ბირთვული რეაქციის ეფექტური კვეთი[1], ქიმიური ელემენტის იზოტოპური შედგენილობა, მიღებული რადიოაქტიური ელემენტის $T_{1/2}$ და დასხივების შეწყვეტიდან გაზომვის მომენტამდე დროის მონაკვეთი) და გამოითვლიან საანალიზო ელემენტის საწყის შემცველობას. აბსოლუტური მეთოდის სიზუსტე დაბალია (20···50 %), ხოლო მისი შესრულება დაკავშირებულია რიგ სიძნელეებთან, ამიტომ აბსოლუტურმა მეთოდმა ფართო გავრცელება ვერ პოვა.

მეორე შემთხვევაში საკვლევ ნიმუშთან ერთად იდენტურ პირობებში ახორციელებენ ეტალონების დასხივებას; აქ შესაძლოა ორი შემთხვევა. პირველ შემთხვევაში საკვლევ ნიმუშთან ერთად ასხივებენ ერთ სტანდარტულ ნიმუშს განსასაზღვრავი ელემენტის ზუსტად ცნობილი შემცველობით. შედეგების შედარებით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ საძიებელი კომპონენტის მასა შემდეგი თანაფარდობიდან

$$\frac{\text{ელემენტის მასა საკვლევ ნიმუშში}}{\text{ელემენტის მასა ეტალონში}} = \frac{\text{ელემენტის აქტიურობა საკვლევ ნიმუშში}}{\text{ელემენტის აქტიურობა ეტალონში}}.$$

[1] ბირთვული რეაქციის ეფექტური კვეთი ახასიათებს ბირთვული რეაქციის მიმდინარეობის ალბათობას.

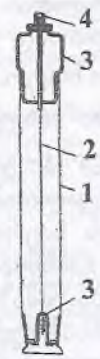
უფრო სწორია მეორე გზა — საკვლევ ნიმუშთან ერთად ეტალონების სპეციალურად დაშზადებული სერიის დასხივება. ამ ეტალონებში განსასაზღვრავი ელემენტის შემცველობა ზუსტადაა ცნობილი. შემდეგ აგებენ აქტიურობის საანალიზო ელემენტის შემცველობაზე დამოკიდებულების საკალიბრებელ მრუდს და საკვლევი ნიმუშის აქტიურობის მიხედვით საკალიბრებელი მრუდის გამოყენებით საზღვრავენ ნიმუშში საკვლევი ელემენტის კონცენტრაციას. თუ ასეთი გზით ნიმუშში უნდა განისაზღვროს რამდენიმე ელემენტის შემცველობა, ადარებენ ნიმუშში გააქტიურებული თითოეული იზოტოპის აქტიურობას შესაბამისი ეტალონების აქტიურობებთან.

აქტივაციური ანალიზის დახმარებით თვისებითი და რაოდენობითი შედგენილობის განსაზღვრისათვის იყენებენ ინსტრუმენტულ ან რადიოქიმიურ მეთოდებს.

ინსტრუმენტული რადიოაქტივაციური ანალიზი მდგომარეობს შექმნილი რადიოაქტიური იზოტოპების გამოსხივების გამოკვლევაში სათანადო რადიოტექნიკური აპარატურით. ძირითადად იყენებენ გეიგერ-მიულერის მთვლელებს.

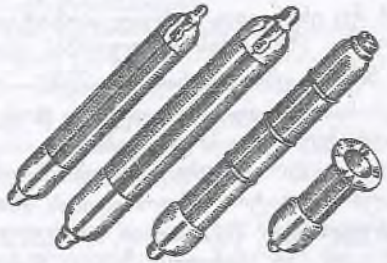
მთვლელები (აირმრიცხველები) განსხვავდება კონსტრუქციის მიხედვით, მაგრამ ჩვეულებრივ ისინი წარმოადგენენ მინის ბალონს, რომლის შიგნითაც განლაგებულია ლითონის ცილინდრი (კათოდი) და ცილინდრის ღერძის გასწვრივ გაჭიმული მავთული (ანოდი). მთვლელი გავსებულია რომელიმე აირით (აზოტი, ჰელიუმი, არგონი, ნეონი ან მათი ხარევი).

„ხისტი" β -ნაწილაკების თვლისათვის იყენებენ ე.წ. ცილინდრულ აირმთვლელებს, რომელთა კედლები დამზადებულია 0,1...0,15 მმ ალუმინის ფოლგისაგან. 0,3... 0,4 მევ-ზე მეტი ენეგრიის მქონე β- ნაწილაკები თავისუფლად შეაღწევენ მთვლელის მგრძნობიარე მოცულობაში. ცილინდრული მთვლელის სქემა მოცემულია 191-ე ნახაზზე.



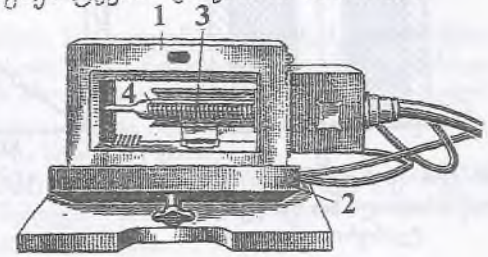
ნახ.191. ცილინდრული β– მთვლელის სქემა: 1-მთვლელის ალუმინის კორპუსი (კათოდი); 2-ვოლფრამის ძაფი (ანოდი); 3-მინის იზოლატორები; 4-ძაფის გამომყვანი (ხუფი)

β- და γ-გამოსხივების რეგისტრაციისათვის განკუთვნილი აირმთვლელების რამდენიმე ტიპი ნაჩვენებია 192-ე ნახაზზე.



ნახ.192

α-, β- ან γ- გამოსხივების ზემოქმედებით აირმრიცხველში აღიძვრება ელექტრული დენი, რომლის ხანმოკლე იმპულსები გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება მარეგისტრირებელ მოწყობილობას. იმპულსების რაოდენობის მიხედვით დროის ერთეულში საზღვრავენ რადიოაქტიური ელემენტის შემცველობას ნიმუშში. კოსმოსური და ბუნებრივი რადიოაქტიური გამოსხივებისაგან დაცვის მიზნით როგორც მთვლელს, ისე გამოსაკვლევ ობიექტს ათავსებენ ტყვიის კამერაში (ნახ.193).

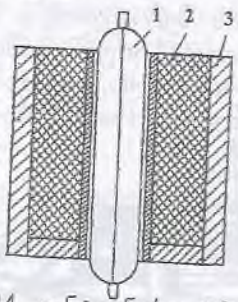


ნახ.193.ტყვიის კამერა აირმრიცხველით: 1-ტყვიის კამერის კორპუსი; 2-კარი; 3-საანალიზო ნიმუშის საჭერი; 4-აირმთვლელი

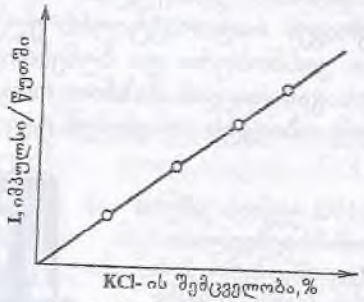
ზოგიერთი განსაზღვრა დაფუძნებულია ბუნებრივი რადიოაქტიური ოზოტოპების აქტიურობის გაზომვაზე. ასე, მაგალითად კალიუმის ყველა ბუნებრივი ნაერთი შეიცავს სამ იზოტოპს, რომელთაგანაც ერთი ^{40}K რადიოაქტიურია. მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი შეადგენს $1,2 \cdot 10^9$ წელს, ხოლო β- გამოსხივების ენერგია—დაახლოებით 1,4 მევ. ბუნებრივ კალიუმში ^{40}K იზოტოპის შემცველობა შეადგენს ელემენტის საერთო მასის 0,012 %-ს. ამიტომ კალიუმის მასალებს გააჩნიათ თუმცა მცირე, მაგრამ ზომვადი რადიოაქტიურობა. ამაზეა დაფუძნებული კალიუმის რადიომეტრული განსაზღვრა კალიუმის ბუნებრივ მარილებში და რთულ კალიუმიან სასუქებში, აგრეთვე კალიუმის მინარევების განსაზღვრა სხვა ნივთიერებებში.

ნატრიუმქლორიდში კალიუმქლორიდის მინარევების რადიომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა: იზოტოპი ^{40}K ასხივებს β-სხივებს 1,4 მევ ენერგიით, აგრეთვე პოზიტრონებს, რენტგენის სხივებსა და γ-სხივებს. იზოტოპის აქტიურობის დაახლოებით 75% გაპირობებულია β- ნაწილაკებით, დანარჩენი 25% — γ- გამოსხივებით. ამიტომ განსაზღვრისათვის უნდა გამოვიყენოთ β- და γ- -სათვის ადვილად შეღწევადი რადიომეტრული მთვლელები.

ჯერ ავაგოთ საკალიბრებელი მრუდი. ამისათვის ავიღოთ კალიუმ- და ნატრიუმქლორიდების მშრალი ნარევები *KCl*-ის ცნობილი შემცველობით, მაგალითად, 0; 12,5; 25; 37,5; 50; 75 და 100% *KCl*-ისა. ამ თუ იმ ნარევის 50 გ წონაკით გავავსოთ ცილინდრული კონტეინერი (ნახ.194), შუაში ჩავაყენოთ მთვლელი, მოვათავსოთ ტყვიის კამერაში



ნახ.194. კონტეინერი: 1-მთვლელი; 2-საანალიზო ნარევი; 3-კონტეინერის კედელი



ნახ.195. საკალიბრებელი მრუდი.

და დავითვალოთ იმპულსების რაოდენობა. ყოველი განსაზღვრის შემდეგ გავზომოთ გამოსხივების ბუნებრივი ფონი. ამისათვის ვისარგებლოთ ქიმიურად სუფთა ნატრიუმქლორიდით. ფონის იმპულსების რაოდენობა უნდა გამოვაკლოთ საანალიზო (ან სტანდარტული) ნიმუშის აქტიურობიდან.

სტანდარტული ნარევებისათვის აქტიურობის გაზომვის შემდეგ ავაგოთ საგრადუირებელი მრუდი. ამისათვის აბსცისათა ღერძზე გადავდოთ კალიუმქლორიდის შემცველობა პროცენტებში, ხოლო ორდინატთა ღერძზე— პრეპარატის აქტიურობა I, ე.ი. იმპულსების რაოდენობა წუთში (ნახ.195).

შემდეგ ავიღოთ ნატრიუმქლორიდის საანალიზო ნიმუში კალიუმქლორიდის მინარევით, გავზომოთ უცნობი ნარევის აქტიურობა და საკალიბრებელი მრუდით განვსაზღვროთ კალიუმქლორიდის მინარევის შემცველობა ნატრიუმქლორიდში პროცენტებში.

რთულ სასუქებში კალიუმის შემცველობის რადიომეტრული განსაზღვრის მეთოდიკა: განვიხილოთ ნიტროფოსკაში (სასუქი $NH_4H_2PO_4+(NH_4)_2HPO_4+KNO_3$) კალიუმის რადიომეტრული განსაზღვრა. ის დაფუძნებულია ნიტროფოსკას ნიმუშის აქტიურობის შედარებაზე სუფთა კალიუმქლორიდის აქტიურობასთან.

ჩავრთოთ რადიომეტრი. ჯერ გავზომოთ გამოსხივების ფონი, ე.ი. იმპულსების რაოდენობა 10 წუთის განმავლობაში რადიოაქტიური ნივთიერების გარეშე. ამ დროს მაეკრანებელი ტყვიის კამერაში მთვლელთან ერთად უნდა მოვათავსოთ ცარიელი კიუვეტა.

შემდეგ კიუვეტაში ჩავყაროთ ქიმიურად სუფთა 105 °C-ის პირობებში გამომშრალი კალიუმქლორიდი და გავზომოთ იმპულსების რაოდენობა 10 წუთის განმავლობაში.

ბოლოს, იგივე კიუვეტა გავავსოთ საანალიზო ნიტროფოსკას სასუქით, მოვათავსოთ მთვლელთან ერთად ტყვიის კამერაში და განვსაზღვროთ აქტიურობა 10 წუთის განმავლობაში.

ნახევრად მჟავა კალიუმის პროცენტული შემცველობა ნიტროფოსკაში შეგვიძლია მოვძებნოთ შემდეგი ფორმულით

$$K_2O,\% = \frac{I_ნ - I_ფ}{I_{KCl} - I_ფ} \cdot 52,4 \cdot 1,2 ,$$

სადაც $I_ნ$ ნიტროფოსკას სინჯის, I_{KCl} კალიუმქლორიდის, $I_ფ$ ფონის შესაბამისი იმპულსების რაოდენობებია 10 წუთის განმავლობაში; 52,4—კალიუმქლორიდში კალიუმის პროცენტული შემცველობა,%; 1,2 — კალიუმის გადაანგარიშების კოეფიციენტია K_2O-ზე (გადათვლის ასეთი მეთოდიკა გათვალისწინებულია სტანდარტებით).

დავუშვათ, რომ აქტიურობის რადიომეტრული გაზომვების შედეგად მიღებულია შემდეგი მონაცემები: $I_ფ$=544 იმპ/10წთ; $I_ნ$ =3562 იმპ/10წთ; I_{KCl} =14214 იმპ/10წთ.

მაშინ

$$K_2O,\% = \frac{3562-544}{14214-544} \cdot 52{,}4 \cdot 1{,}2 = 13{,}84.$$

ექსპერტიზამ მოგვცა დადებითი შედეგი, ვინაიდან ნიტროფოსკაში დასაშვებია K_2O-ს შემცველობა 11-დან 14%-მდე.

ანალიზის რადიომეტრულ მეთოდებს გააჩნიათ რიგი უპირატესობებისა ქიმიურ მეთოდებთან შედარებით. ძირითადი უპირატესობაა მაღალი მგრძნობიარობა, რომელიც აღემატება ქიმიური და ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდის მგრძნობიარობას. მაგალითად, რადიომეტრული მეთოდები გვაძლევენ საშუალებას განვსაზღვროთ ^{65}Ni და ^{60}Co იზოტოპები 10^{-8} გ-ის რაოდენობით ხოლო ^{64}Cu და ^{76}As იზოტოპები $3{,}4 \cdot 10^{-10}$ გ-ის რაოდენობით. ამ მეთოდებს ძირითადად იყენებენ მაღალი სისუფთავის ლითონებში ზოგიერთი მიკრომინარევის რაოდენობითი განსაზღვრისათვის.

ამავე დროს ანალიზის რადიომეტრული მეთოდების სიზუსტე შედარებით დაბალია და შეადგენს ±(5-20)%-ს, რაც არსებითად ჩამოუვარდება ქიმიური მეთოდების სიზუსტეს. მაგრამ რადიომეტრული მეთოდები შეუცვლელია ელემენტების მინარევების რაოდენობითი განსაზღვრისას.

2.2.5. მას-სპექტრული ანალიზი

ანალიზის მას-სპექტრული მეთოდი დაფუძნებულია იონიზებული ატომების, მოლეკულებისა და რადიკალების განსაზღვრაზე იონების ნაკადის დაყოფის გზით ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედებით იონთა m მასის მათ e მუხტთან თანაფარდობის შესაბამისად.

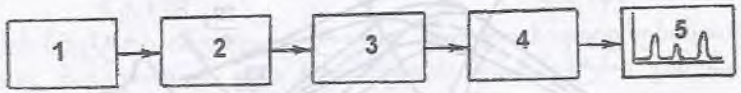
გამოსაკვლევი მასალა (აირი, მყარი სხეული) შეაქვთ კამერაში, სადაც ხდება მისი ბომბარდირება ელექტრონებით. ამის შედეგად მიიღება იონები (არსებობს იონების მიღების სხვა ხერხებიც). შემდეგ მას-ანალიზატორი გამოყოფს m მასის იონურ სხივს მეორე ახლო m-Δm მასის

მქონე სხივისაგან და ზრდის დაცალკევებული სხივების ინტენსიურობას. შემდეგ ხდება მათი ცალ-ცალკე რეგისტრირება.

დაცალკევებული ნაწილაკების რეგისტრაციის მიხედვით ასხვავებენ საკუთრივ მას-სპექტრომეტრიას და მას-სპექტროგრაფიას. პირველ შემთხვევაში ხდება ნაწილაკების რეგისტრაცია ელექტრული ხერხით, მეორეში — ფოტოგრაფიული გზით. შესაბამისად ამ განსაზღვრას აწარმოებენ სხვადასხვა ხელსაწყოების — მას-სპექტრომეტრების ან მას-სპექტროგრაფების საშუალებით.

მას-სპექტრომეტრები ხელსაწყოებია, რომლებიც მაღალი ვაკუუმის პირობებში და მაგნიტური ველების მეშვეობით დააცალკევებს გამოსაკვლევი ნივთიერების დამუხტულ (იონიზებულ) ნაწილაკებს (მოლეკულებს, ატომებს) მათი m მასის e მუხტთან ფარდობის (m/e) მიხედვით.

მას-სპექტრომეტრი (ნახ.196) შეიცავს მოწყობილობას გამოსაკვლევი ნივთიერების მომზადებისათვის 1;



ნახ.196

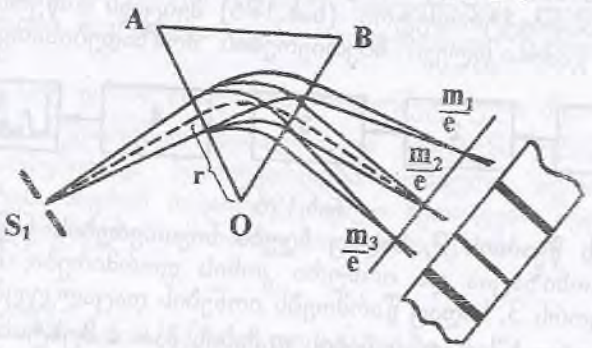
იონების წყაროს 2, სადაც ხდება ნივთიერების ნაწილობრივი იონიზაცია და იონური კონის ფორმირება; მას-ანალიზატორს 3, სადაც წარმოებს იონების დაცალკევება მასების (უფრო ხშირად იონების m მასის მათ e მუხტთან ფარდობის) მიხედვით; იონების მიმღებს 4, სადაც იონური დენი გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალში, რომელიც შემდეგ ძლიერდება და რეგისტრირდება სათანადო მოწყობილობით 5.

ანალიზურ მას-სპექტრომეტრიაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება იონიზაციის შემდეგი ხერხები: იონიზაცია ელექტრონების დაჯახებით (აქროლადი ნივთიერებების ანალიზისას), იონიზაცია ლაზერის სხივის მოქმედებით (ძნელად აქროლად ნივთიერებებთან მუშაობისას), ზედაპირული იონიზაცია (იონიზაციის დაბალი პოტენციალის მქონე

ნივთიერებების იზოტოპური ანალიზისას), აგრეთვე ფოტოიონიზაცია, იონიზაცია იონების დაჯახებით.

მას-ანალიზატორი არის ელექტრული და მაგნიტური ველებისაგან შექმნილი იონურ-ოპტიკური სისტემა, რომელშიც ხდება იონების დაფოკუსება და დაცალკევება. ანალიზატორის მოქმედების პრინციპის მიხედვით განასხვავებენ სტატიკურ და დინამიკურ მას-ანალიზატორებს (შესაბამისად სტატიკურ და დინამიკურ მას-სპექტრომეტრებს).

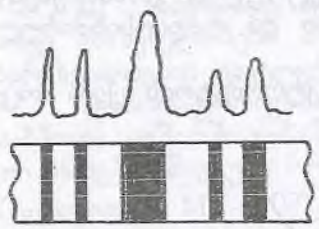
სტატიკურ მას-ანალიზატორებში იონების დაცალკევებისათვის გამოიყენება მუდმივი ან ხელსაწყოში იონის მოძრაობის დროის განმავლობაში პრაქტიკულად უცვლელი ელექტრული და მაგნიტური ველები. იონების დაცალკევება ამ შემთხვევაში სივრცითია. მას-ანალიზატორის სქემა ერთგვაროვანი მაგნიტური ველით მოცემულია 197-ე ნახაზზე.



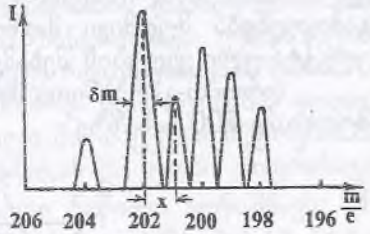
ნახ.197

იონების წყაროში მიღებული იონები S_1 ხვრელიდან განშლადი კონის სახით მიემართება ნახაზის სიბრტყისადმი პერპენდიკულარული ერთგვაროვანი H მაგნიტური ველის OAB უბნისაკენ. აქ ხდება საერთო კონის დაცალკევება სხვადასხვა m/e ფარდობის მქონე იონთა კონებად, რომლებიც შემდეგ ფოკუსირდება ფოტოფირფიტის სხვადასხვა ადგილებში და მისი გაშუქების შემდეგ ქმნის ზოლებს. შესაძლოა სხვა ვარიანტიც — ანალიზატორის გამოსავალზეც კეთდება ხვრელი სწორკუთხა ჭვრიტეს სახით,

დროში ცვლადი ელექტრული და მაგნიტური ველების გამო ამ ჭვრიტეს მიმდევრობით მოხვდება სხვადასხვა m/e ფარდობის მქონე იონთა კონები და თანაბარი სიჩქარით მოძრავ ფოტოფირფიტაზე კვლავ მივიღებთ სპექტროგრამას. თუ ფოტოფირფიტის ნაცვლად ამ მეორე ჭვრიტეს უკან განვალაგებთ ფოტომიმღებს, სპექტროგრამის მაგივრად ფოტომიმღების გამოსავალზე მიღებული იმპულსების გაძლიერების შემდეგ მივიღებთ სპექტროგრამის შესაბამის ფოტომეტრულ მრუდს (ნახ.198).



ნახ.198



ნახ.199

მას-სპექტრი ინდივიდუალურია ყოველი ნივთიერებისათვის. ასე, მაგალითად, ვერცხლისწყლის მას-სპექტრი გამოსახულია 199-ე ნახაზზე.

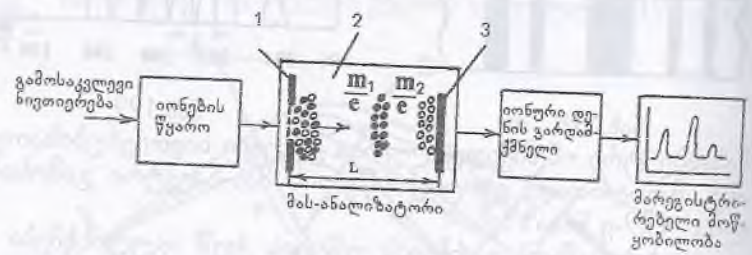
ხელსაწყოს გარჩევის უნარის ქვეშ იგულისხმება სიდიდე $M/\Delta M$, სადაც $M=m/e$, ხოლო $\Delta M=\delta m/x$. აქ δm მას-სპექტრის განსახილველი პიკის სიგანეა ნახევარსიმაღლეზე, ხოლო x — ერთის ტოლი მასური რიცხვით განსხვავებულ ორ მეზობელ პიკს შორის მანძილი m/e ერთეულებით. ვინაიდან m-ის ერთეულად აღებულია მასის ატომური ერთეული (მ.ა.ე.), ხოლო e-ს ერთეულად— ელექტრონის მუხტის სიდიდე, ამიტომ 199-ე ნახაზზე განხილული შემთხვევისათვის ($M=202$ მ.ა.ე./e ; $\Delta M\approx 0{,}5$ მ.ა.ე./e) გარჩევის უნარისათვის გვექნება $(M/\Delta M)\approx 400$.

დინამიკურ მას-ანალიზატორებში სხვადასხვა m/e ფარდობის მქონე იონების დაცალკევებისათვის გამოიყენება განსაზღვრული მანძილის იონებით გარბენის სხვადასხვა დრო. არსებობს დინამიკური ანალიზატორები, რომლებშიც გამოიყენება ელექტრული და მაგნიტური ველების შეხამება

ან მხოლოდ ელექტრული ანალიზატორები. დინამიკური მას-ანალიზატორებისათვის საერთოა იონების კონებზე იმპულსური რადიოსიხშირული ელექტრული ველების მოქმედება ანალიზატორში იონების გარბენის დროზე ნაკლები ან ტოლი პერიოდით.

ცნობილია დინამიკური მას-ანალიზატორების ტიპების საკმაოდ დიდი რაოდენობა, მათ შორის დროით-გარბენითი, რადიოსიხშირული, კვადრუპოლური, მაგნიტურ-რეზონანსული, ციკლოტრონულ-რეზონანსული და სხვ. პირველი სამი ანალიზატორი ელექტრულია, დანარჩენებში გამოიყენება მუდმივი მაგნიტური და რადიოსიხშირული ელექტრული ველების შეხამება.

დროით-გარბენითი მას-სპექტრომეტრის სქემა მოცემულია მე-200 ნახაზზე.



ნახ.200

ამ მას-სპექტრომეტრებში იონების მიღება ხდება იონების წყაროში ხანმოკლე ელექტრული იმპულსით და შემდეგ „იონური პაკეტის“ „შეშხაპუნება“ ბადის 1 გავლით ანალიზატორში 2, რომელიც წარმოადგენს ეკვიპოტენციალურ სივრცეს. ანალიზატორში კოლექტორის 3 მიმართულებით „დრეიფის“ პროცესში m_1 და m_2 მასების (შავი და თეთრი წრეები ნახაზზე) იონების შემცველი პაკეტი „განშრევდება“ რამდენიმე პაკეტად. თითოეული მათგანი შედგება ერთნაირი m/e ფარდობის მქონე იონებისაგან. განშრევებას განაპირობებს ის, რომ საწყის პაკეტში ყველა იონის ენერგია ერთნაირია, ხოლო მათი სიჩქარე და შესაბამისად ანალიზატორის გარბენის დრო t უკუპროპორციულია $\sqrt{m}$-ისა. მძიმე იონები (m_1) ჩამორჩება მსუბუქ

იონებს (m_2). კოლექტორამდე მიღწეული იონური პაკეტების მიმდევრობა ქმნის მას-სპექტრს, რომელიც რეგისტრირდება, მაგალითად, ოსცილოგრაფის ეკრანზე.

მას-სპექტრომეტრებში იონების მიმღები წარმოადგენს კოლექტორს, რომელიც შეერთებულია მუდმივი დენის მაძლიერებელთან. მას-სპექტრომეტრებში გამოყენებული მაძლიერებლების მგრძნობიარობა აღწევს 10^{-15}...10^{-16} ამპერს. ელექტრონული მამრავლებლების გამოყენებით შესაძლებელია დენების გაზომვის მგრძნობიარობის ამაღლება 10^{-18}...10^{-19} ამპერამდე. მგრძნობიარობის დაახლოებით ისეთივე მნიშვნელობები მიიღება ხანგრძლივი ექსპოზიციის ხარჯზე იონების ფოტოგრაფიული რეგისტრაციის დროს.

ლაბორატორიებში ფართოდ გამოიყენება ყოფილ საბჭოთა კავშირში გამოშვებული მას-სპექტრომეტრები. მათი ინდექსი შედგება ორი ასოსაგან და ოთხი ციფრისაგან (მაგალითად, МХ-6407): ასოითი ნაწილი აღნიშნავს: МИ —იზოტოპური მას-სპექტრომეტრები; МХ—მას-სპექტრომეტრები ქიმიური ანალიზისათვის; МС—სპექტრომეტრები ფიზიკურ-ქიმიური კვლევებისათვის; МВ — ხელსაწყოები მაღალი გარჩევის უნარით. ოთხი ციფრიდან პირველი მიუთითებს მასების მიხედვით იონების დაცალკევების მეთოდზე (1-მაგნიტურ ერთგვაროვან ველში; 2-მაგნიტურ არაერთგვაროვან ველში; 4-მაგნიტურ- დინამიკური; 5-დროითგარბენითი; 6-რადიოსიხშირული), მეორე ციფრი— გამოყენების პირობებზე (1-ინდიკატორები; 2-საწარმოო კონტროლისათვის; 3-ლაბორატორიული კვლევებისათვის; 4-განსაკუთრებული პირობებისათვის). ამჟამად მას-სპექტრომეტრებს უშვებს იაპონიის, აშშ-ის გერმანიის დიდი ბრიტანეთის, საფრანგეთის, შვეიცის რამდენიმე ათეული ფირმა.

მას-სპექტრული ანალიზი ხასიათდება მაღალი მგრძნობიარობით (10^{-6}...10^{-15} გ) და სიზუსტით (10^{-4}%). ის ფართოდ გამოიყენება იზოტოპურ ანალიზში, ბირთვულ ტექნიკაში, ქიმიაში (ელემენტური და მოლეკულური სტრუქტურული ანალიზისათვის), პროდუქციის ექსპერტიზისა და სხვა მიზნებისათვის.

ლიტერატურა

1. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. М.-Л.: Госхимиздат, 1962.
2. Алексеев В.Н. Количественный анализ. Изд.3-е. М.: Госхимиздат, 1963.
3. Белявская Т.А., Большова Т.А. Хроматографический анализ неорганических веществ. –М.: Изд-во МГУ, 1970.
4. Булатов М.И., Калинкин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрометрическим методам анализа. –Л.: Химия, 1976.
5. Васильев В.П. Аналитическая химия. -М.: Высшая школа, 1989.
6. Вяхирев Д.А., Шушунова А.Ф. Руководство по газовой хроматографии. - М.: Высшая школа, 1975.
7. Головина А.П., Левшин Л.В. Химический люминесцентный анализ неорганических веществ.-М.: Химия, 1978.
8. Гороховская В.И. Гороховский В.М. Практикум по осциллографической полярографии. –М.: Высшая школа, 1973.
9. Долидзе В.А., Алхизишвили Т.М. Терминологический справочник по ионометрии. Тбилиси: Мецниереба, 1988.
10. Евтихиев Н.Н., Купершмидт Я.А., Папуловский В.Ф., Скугоров В.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
11. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. – М.: Химия, 1974.
12. Калитчев Р.К., Зедгинидзе И.Г. Методика и практика потенциометрических измерений. – Тбилиси: Технический университет – "Центр информатизации", 1998.
13. Логинов Н.Я. Воскресенский А.Г., Солодкин И.С. Аналитическая Химия. – М.: Просвещение, 1979.

14. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа. – М.: Высшая школа, 1975.
15. Ляликов Ю.С. Физико-химические методы анализа. – М.: Химия, 1974.
16. Мидгли Д., Торренс К. Потенциометрический анализ воды. Пер. с англ. М.: Мир, 1980.
17. Нормативные документы по контролю за содержанием токсикантов в продукции растениеводства. – М.: Агропромиздат, 1988.
18. Подобаев Н.И. Электрохимия. –М.: Просвещение, 1977.
19. Полеес М.Э., Душечкина И.Н. Аналитическая химия. – М.: Медицина, 1987.
20. Практикум по аналитической химии: Учеб. пособие для фармац. ин-тов и фармац. фак. мед. ин-тов. Пономарев В.Д., Иванова Л.И., Самокиш И.И. и др. – М., Высшая школа, 1983.
21. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин.- М –Л.: Энергия, 1966.
22. Феоктистов В.Г. Лабораторные весы. – М.: Издательство стандартов, 1979.
23. Худякова Т.А., Крешков А.П., Кондуктометрический анализ. – М.: Высшая школа, 1975.
24. Цитович И.К. Курс аналитической химии. – М.: Высшая школа, 1972.
25. Цитович И.К. Курс аналитической химии. – М.: Высшая школа, 1985.
26. ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია.
27. ქიმიის ტერმინოლოგია, თბილისი, „მეცნიერება“, 1970.

სარჩევი

შესავალი 3
1. თვისებითი ანალიზი 4

2. რაოდენობითი ანალიზი 11
2.1. რაოდენობითი ანალიზის ქიმიური მეთოდები... 12
2.1.1. გრავიმეტრიული ანალიზი 12
2.1.2. მოცულობითი ანალიზი 30
2.1.2.1. ტიტრომეტრული მოცულობითი ანალიზი 30
2.1.2.2. აირის მოცულობითი ანალიზი 43
2.1.3. აირის ანალიზის ქიმიური მეთოდები 48

2.2. რაოდენობითი ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკური მეთოდები და საშუალებები 62
2.2.1. ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდები .. 63
2.2.1.1. პოტენციომეტრია 63
2.2.1.2. ანალიზის პოლაროგრაფიული მეთოდი 124
2.2.1.3. კულონომეტრია 136
2.2.1.4. კონდუქტომეტრია 154
2.2.2. ანალიზის ოპტიკური მეთოდები 178
2.2.2.1. კოლორიმეტრული ანალიზი 179
2.2.2.2. ფოტოკოლორიმეტრული ანალიზი 190
2.2.2.3. სპექტროფოტომეტრული ანალიზი 235
2.2.2.4. ნეფელომეტრული ანალიზი 258
2.2.2.5. ემისიური ალიან-ფოტომეტრული ანალიზი 263
2.2.2.6. ლუმინესცენციური ანალიზი 273
2.2.2.7. რეფრაქტომეტრული ანალიზი 276
2.2.2.8. პოლარიმეტრული ანალიზი 292
2.2.3. ქრომატოგრაფიული ანალიზი 303
2.2.3.1. თხევადი ქრომატოგრაფია 304
2.2.3.2. აირული ქრომატოგრაფია 309
2.2.4. რადიომეტრული ანალიზი 316
2.2.5. მას-სპექტრული ანალიზი 324
ლიტერატურა 330



И.Г.Зедгинидзе. Экспертиза. Методы и средства. Учебник. Изд-во Технический университет -"Центр информатизации", Тбилиси, 1999, 336 с.

Учебник написан в соответствии с курсом, читаемым студентам специальности "Метрология, стандартизация и управление качеством". В нем рассмотрены методы и средства, применяемые при экспертизе продукции пищевой и фармацевтической промышленности. Особое внимание уделяется применяемым в настоящее время в экспертных лабораториях средствам измерения, вопросам их настройки, поверки и практического применения.

I.Zedginidze. Expertise. Methods and means. The book is published by G.T.U. Tbilisi, p. 336.

The textbook is written according to the course given to the students of the speciality metrology, standardization and quality control. The textbook deals with the basic methods and means of Expertise of feed and pharmacevtic production. Particular attention given to measurement means at present put into practice laboratory of expertise, the question of tuning, verification and practical application of this mesurement means.

I.Sedginidse. Expertise. Methoden und Mitteln. Das Lehrbuch. Verlag Technische Universitäd –"Informatisationszentrum". Tbilissi, 1998, 336 s.

Das Lehrbuch ist für die Studenten der Richtung für "Metrologie, Standartisation und Leitung der Qualität" zusammengestellt. Da sind Methoden und Mitteln, betrachtet die bei der Expertise der Nahrungsproduktion und der pharmazevtischen Industrie angevandt sind. Zur Zeit wird es meistens im Expertlaboratorium auf anwendende Messmittel, die Fragen ihrer Einstellung, der Prüfung und praktischer Anwendung Aufmerksamkeit geschenkd.

I.G. Zedguinidze. Expertise. Methodes et Moyens. Manuel Editions Uniwersité technique de Georgie – "Centre d'informatisation". Tbilissi, 1998. 336 p.

Le manuel est redigé conformement au cours abrégé fait aux étudiants de la branche suivante "Métrologie, nominalisation et controle de qualité". On y considere les méthodes et les moyens employés au cours d'expertise de la production de l'alimentation et de l'industrie farmaceutique. A l'heure actuelle dans les laboratoirs d'expert une attention particuliere est preteé aux moyens de mésure, aux problémes de leur réglage, a la vérification et a leur application pratique.

წიგნი ეძღვნება
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინფორმაციო - საზომი ტექნიკის კათედრის
30 წლისთავს

საინფორმაციო-საზომი ტექნიკის კათედრა შექმნილია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში გამოჩენილი მეცნიერისა და საზოგადო მოღვაწის, დ. მენდელეევის სახელობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის თბილისის ფილიალის დირექტორის გიორგი ზედგინიძის მიერ 1969 წელს.

1972 წლიდან კათედრას ხელმძღვანელობს ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, კავშირგაბმულობის საერთაშორისო აკადემიის აკადემიკოსი, ინფორმატიზაციის საერთაშორისო აკადემიის აკადემიკოსი ირაკლი ზედგინიძე.

30 წლის განმავლობაში დინამიკური განვითარების შედეგად კათედრა გახდა უნივერსიტეტის ერთერთი წამყვანი ქვედანაყოფი. კათედრაზე მოღვაწეობს სამი პროფესორი - ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, ათი დოცენტი - ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, ორი უფროსი მასწავლებელი, ასისტენტები და სასწავლო-დამხმარე პერსონალი. კათედრის თანამშრომლებს შორის არის სამი აკადემიკოსი, სახელმწიფო პრემიის ლაურეატი, საქართველოს კომკავშირის პრემიის ორი ლაურეატი. კათედრის თანამშრომლების მიერ გამოქვეყნებულია 12 მონოგრაფია, 40-ზე მეტი სახელმძღვანელო და დამხმარე სახელმძღვანელო, 400-ზე მეტი სტატია საზღვარგარეთულ და სამამულო ჟურნალებში, მიღებულია რამდენიმე ათეული საავტორო მოწმობა, საწარმოებში დანერგილია რაციონალიზატორული წინადადებების დიდი რაოდენობა. კათედრაზე შექმნილი სტენდ-ტრენაჟერები ექსპონირებული იყო გამოფენებზე და დაიმსახურა ქ. მოსკოვის სახალხო მეურნეობის მიღწევათა საკავშირო გამოფენაზე ვერცხლის მედალი. შექმნილია ექსპერიმენტის დაგეგმვის ქართული სკოლა და ინსტიტუტის ბაზაზე ჩატარდა საკავშირო კონფერენცია ექსპერიმენტის მათემატიკურ დაგეგმვაში, რამდენიმე რესპუბლიკური კონფერენცია, თათბირ-სემინარი სტანდარტიზაციასა და ხარისხის მართვაში.

კათედრაზე ხდება როგორც ბაკალავრების, ისე მაგისტრების მომზადება სპეციალობებით „საინფორმაციო-საზომი ტექნიკა“ და „მეტროლოგია, სტანდარტიზაცია და ხარისხის მართვა“. საბიუჯეტო ვაკანსიების გარდა ორივე სპეციალობაში დაკომპლექტებულია ფასიანი ვაკანსიები.

კათედრაზე შექმნილია თანამედროვე მოწყობილობებით აღჭურვილი 14 ლაბორატორია, კომპიუტერული ცენტრი, სტანდარტიზაციის კაბინეტი. კათედრასთან ფუნქციონირებს: მეტროლოგიის და სტანდარტიზაციის სამეცნიერო-კვლევითი ლაბორატორია, სადაც შექმნილია და დანერგილი რამდენიმე სტანდარტი; ინფორმატიზაციის ცენტრი, რომელიც სხვა სამუშაოებთან ერთად ამზადებს და აქვეყნებს სამეცნიერო, სასწავლო და მეთოდურ ლიტერატურას.

ზედგინიძე ირაკლი გიორგის ძე

ექსპერტიზა:
მეთოდები და საშუალებები

რედაქტორი მ. ძიძიგური
ტექნიკური რედაქტორი მ. ბალიაშვილი
დამკაბადონებელი თ. მოდებაძე
კომპიუტერული დიზაინი მ. ბალიაშვილი, ნ. ბერაია

გადაეცა წარმოებას 25.02.1999 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 15.03.1999 წ. ქაღალდის ზომა 60X84 1/16. გარნიტურა Chveulebrivy. ნაბეჭდი თაბახი 21. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 17,5. ტირაჟი 200 ეგზ. შეკვეთა 99/1
ფასი სახელშეკრულებო

გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი-ინფორმატიზაციის ცენტრი“,
თბილისი, მ.კოსტავას, 77

ორიგინალ-მაკეტი დამზადებულია და ტირაჟი დაბეჭდილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ინფორმატიზაციის ცენტრში“
თბილისი, მ.კოსტავას, 77

10ლ