ბ. ი. ბუმბურიძე, ჟ. ნ. ბარამიძე

წამალთა ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები

თბილისი
1992

ბ. ჭუმბურიძე, ქ. ბარამიძე

ნამალთა ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები

თბილისი
1992

წიგნში გადმოცემულია ანალიზის თანამედროვე ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების ძირითადი საფუძვლები. აღწერილია აპარატურა, ხელსაწყოები და მათი გამოყენების წესები.

ნაშრომში გადმოცემულია მასალა კვლევის ისეთი ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების შესახებ, როგორიცაა რეფრაქტომეტრია, პოლარიმეტრია, ფოტომეტრია, სპექტროფოტომეტრია ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ არეში, მახ—სპექტრომეტრია, ბირთვულ-მაგნიტური რეზონანსი, ფლუორომეტრია, პოტენციომეტრია, პოლაროგრაფია, ქრომატოგრაფიული მეთოდები (ქრომატოგრაფია ქაღალდზე, თხელ ფენაზე, იონცვლითი — სინთეზურ პოლიმერებზე და ცელულოზურ იონმცვლელებზე, გელ-ფილტრაცია სეფადექსზე, მაღალეფექტური სითხოვანი ქრომატოგრაფია, გაზური ქრომატოგრაფია) და სხვ.

წიგნი წარმოადგენს სახელმძღვანელოს პროვიზორთა და ქიმიკოსთათვის, საკონტროლო-ანალიზური ლაბორატორიების, საფუთიაქო სამმართველოს, ქიმიურ-ფარმაცევტული მრეწველობის და სხვა და სხვა ქიმიური ლაბორატორიების თანამშრომელთათვის, აღნიშნული სპეციალობის სტუდენტთა და დახელოვნების კურსებისათვის.

ბ 4108000000 / 3 (0494)—92

© გამომცემლობა „მედიცინა"
ბ. ჭუმბურიძე, ქ. ბარამიძე

ფასი სახელშეკრულებო

შეკვეთა 856 ტირაჟი 2000

საქართველოს მეცნ. აკადემიის სტამბა, თბილისი, 380060, კუტუზოვის ქ. 19

შესავალი

ჯანდაცვის სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი რგოლი მოსახლეობის მედიკამენტებით უზრუნველყოფაა. ყოველწლიურად იზრდება მზა სამკურნალო საშუალებათა ასორტიმენტი და ხვედრითი წონა. დიდი ყურადღება ექცევა ახალი სამკურნალო პრეპარატების ძიებასა და მათი ანალიზის ობიექტური მეთოდების დამუშავებას.

წამლის ხარისხს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს, რადგან ძირითადად მასზეა დამოკიდებული ავადმყოფის განკურნება, ამასთან ავადმყოფსა და მის მომსახურე პერსონალს არ ძალუძთ წამლის კეთილხარისხოვნების განსაზღვრა.

სამკურნალო პრეპარატების არსენალის მრავალფეროვნება და მზა წამლის ფორმების წარმოების გაფართოება ახლებურად აყენებს მედიკამენტების ხარისხისადმი კონტროლს.

სამკურნალო პრეპარატების სტანდარტიზაცია და შემოწმება პირველ რიგში თვით მწარმოებელ ფაბრიკა-ქარხნებში არსებულ საკონტროლო-ანალიზურ ლაბორატორიებში ტარდება, შემდეგ საწყობებთან არსებულ და ქალაქის ან სარაიონთაშორისო საკონტროლო ანალიზურ ლაბორატორიებში, ბოლოს კი აფთიაქების საკონტროლო კაბინეტებში პროვიზორ-ანალიტიკოსთა მიერ.

ძველად აფთიაქში მომზადებული წამლის ხარისხის შემოწმებას ძირითადად გამოკითხვით და ორგანოლეპტურად ატარებდნენ. ქიმიისა და ფიზიკის სწრაფმა განვითარებამ, ანალიზური ქიმიის მიღწევებმა განაპირობეს ის უდიდესი წარმატებანი, რაც გვაქვს ამჟამად სამკურნალო პრეპარატების სტანდარტიზაციისა და ანალიზის სფეროში.

ანალიზის თანამედროვე ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ არა მარტო სამკურნალო პრეპარატის ზოგადი შემადგენლობა, არამედ გამოვიკვლიოთ მოლეკულის აგებულება, ფუნქციური ჯგუფების მდგომარეობა, სისუფთავე, დაშლის პროდუქტები და დაშლის ხარისხი.

წამალთა ანალიზის პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ოპტიკური, სპექტრომეტრული, ქრომატოგრაფიული მეთოდები და სხ.

უკანასკნელ წლებში დამუშავებული და მოწოდებულია სამკურნალო პრეპარატებისა და წამლის ფორმების ანალიზის მრავალრიცხოვანი მეთოდი, მაგრამ ამ მეთოდების პრაქტიკული გამოყენებისთვის ჯერ კიდევ მცირეა სახელმძღვანელო ლიტერატურა, მით უმეტეს ქართულ ენაზე. ეს წიგნი პირველად გამოიცა 1970 წელს, ამჟამად გთავაზობთ მის გადამუშავებულ და შევსებულ ვარიანტს.

ვიმედოვნებთ, წინამდებარე სახელმძღვანელო ამ მხრივ დიდ დახმარებას გაუწევს შესაბამისი პროფილის დარგის მუშაკებსა და სტუდენტებს.

ოპტიკური მეთოდები

რეფრაქტომეტრია

რეფრაქტომეტრია ანალიზის ოპტიკური მეთოდია. იგი ემყარება გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრას.

რეფრაქციის, ანუ გარდატეხის მაჩვენებელთა განსაზღვრით ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში სარგებლობენ სხვადასხვა ამოცანათა გადასაწყვეტად. ამ მეთოდს იყენებენ ნივთიერებათა გამოსაცნობად, სიწმინდის დასადგენად და რაოდენობის განსაზღვრისათვის; აგრეთვე ნაერთთა სტრუქტურისა და ხსნართა ბუნების გამოსაკვლევად. ამიტომ რეფრაქტომეტრი წარმოადგენს კვლევითი დაწესებულებებისა და საწარმოთა ქიმიური ლაბორატორიების ერთ-ერთ აუცილებელ ხელსაწყოს.

რეფრაქტომეტრიამ საკმაოდ ფართო გამოყენება ჰპოვა ფარმაცევტული პრეპარატების გამოკვლევის პრაქტიკაში — წამალთა თვისობრივი და, განსაკუთრებით, რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის.

რეფრაქტომეტრიულ ანალიზს, როგორც რაოდენობრივი განსაზღვრის მეთოდს, დიდი უპირატესობანი გააჩნია, რომელთაგან მთავარია მეტისმეტი სიმარტივე, სისწრაფე და საკმაო სიზუსტე. ამასთანავე, ანალიზისათვის საკმარისია გამოსაკვლევი ნივთიერების უმნიშვნელო რაოდენობა (ხსნარის 2—3 წვეთი) და არ საჭიროებს ტიტრიან ხსნარებს და რეაქტივებს.

ამ მხრივ, ნივთიერებათა ანალიზის ქიმიურ მეთოდებთან შედარებით, რეფრაქტომეტრიას ანალიზის **ექსპრეს-მეთოდის** უპირატესობა ენიჭება.

ნივთიერებათა გამოკვლევის პრაქტიკაში, საერთოდ, რეფრაქტომეტრიის გამოყენების შესახებ ბევრი შრომა მოიპოვება.

რეფრაქტომეტრიას საფუძველი ჩაეყარა ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში. პირველად ნიუტონმა შემოიტანა ცნება „რეფრაქცია“

და ცდილობდა რეფრაქციის მაჩვენებლის განსაზღვრას. ლომონოსოვმა რეფრაქტომეტრია განიხილა, როგორც რაოდენობითი ანალიზის მეთოდი, ხოლო გლაზუნოვმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა რეფრაქტომეტრიის, როგორც ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდის განვითარებაში.

რეფრაქტომეტრიის სფეროში ღრმა მეცნიერული გამოკვლევები ეკუთვნით: მარგულევას, ალექსანდროვს, ანოსოვს, იოფეს, ვალტერს და სხვ., რომლებმაც დაადგინეს ხსნართა კონცენტრაციის დამოკიდებულება გარდატეხის მაჩვენებელთან.

წამალთა ანალიზში რეფრაქტომეტრიის გამოყენებას მიეძღვნა შვარცმანის, სოლცის, პავლოვის, ფიალკოვის, კრასოვსკის და სხვათა გამოკვლევები.

ჩვენ ძირითადად ვისარგებლეთ ი. ფიალკოვის და ლ. სოლცის შრომებით და მოსკოვის საფთიაქო სამმართველოს ცენტრალური საკონტროლო ანალიზური ლაბორატორიის მიერ გამოქვეყნებული მასალებით. ცხრილები 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12 და 13 ამოღებულია ამ მასალებიდან. საკუთარი გამოკვლევების მონაცემები, რომელიც ჩატარებულ იქნა თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო ინსტიტუტის ფარმაცევტული ქიმიის კათედრის ლაბორატორიაში პროფ. ა. ვ. მშვიდობაძის, ფარმ. მეცნ. კანდიდატის ო. ვ. სარჯველაძის და ჩვენს მიერ, წარმოდგენილია 6, 7, 8, 14, 15, 16 და 20 ცხრილებში.

გარდატეხის მაჩვენებელი და მასზე მოქმედი ფაქტორები

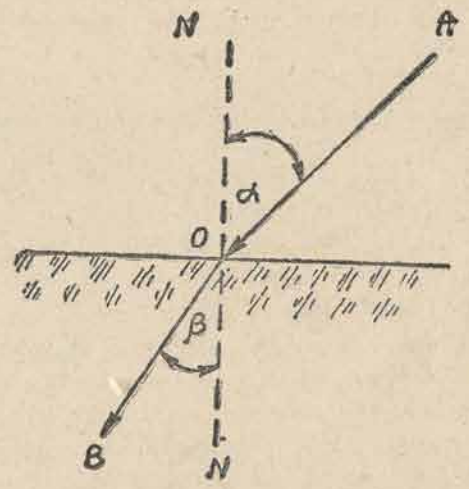
სინათლე ორ შემხებ გამჭვირვალე გარემოში სხვადასხვა სიჩქარით ვრცელდება. სინათლის სხივი ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას იცვლის პირვანდელ მიმართულებას (გარდატყდება) და სიჩქარეს.

სხივის დაცემის კუთხის (α) სინუსის შეფარდება გარდატეხის კუთხის (β) სინუსთან ტოლია დაცემული სხივის სიჩქარის V_1 შეფარდებისა გარდატეხილი სხივის სიჩქარესთან (V_2). ამ სიდიდეს აღნიშნავენ n-ით და უწოდებენ გარდატეხის კოეფიციენტს — მაჩვენებელს (რეფრაქციის მაჩვენებელი) $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{V_1}{V_2} = n$ (ნახ. 1).

გარდატეხის მაჩვენებელი — n წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს (კონსტანტას) მოცემული ორი გარემოსთვის.

გარდატეხის მაჩვენებლის სიდიდე დამოკიდებულია:

ა) ნივთიერების ბუნებაზე. სხვადასხვა ნივთიერებას გარდატეხის მაჩვენებლის სხვადასხვა სიდიდე ახასიათებს. ცნობილია, რომ უჯერი ნაერთების რეფრაქციის მაჩვენებელი უფრო დიდია, ვიდრე ნაჯერი ნივთიერებისა.



ნახ. 1

ბ) ტემპერატურაზე. ტემპერატურის მომატებით გარდატეხის მაჩვენებელი მცირდება. ამიტომ გარდატეხის მაჩვენებელს საზღვრავენ უცვლელი ტემპერატურის პირობებში, უფრო ხშირად 20°-ზე. საერთოდ. განსაზღვრის შედეგს მითითებული უნდა ჰქონდეს ტემპერატურა. როდესაც რეფრაქტომეტრს არ ახლავს თერმოსტატი და განსაზღვრა ტარდება 20°-ისაგან განსხვავებულ პირობებში, მაშინ შეაქვთ შესწორება შემდეგი ფორმულით: $n_{20°} = nt - (20 - t°) \cdot 0{,}00045$, სადაც t ტემპერატურაა, რომელზეც წარმოებს განსაზღვრა.

გ) ხ ს ნ ა რ ი ს კ ო ნ ც ე ნ ტ რ ა ც ი ა ზ ე. კონცენტრაციის გაზრდით ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი იზრდება. სწორედ ამ თვისებას ემყარება რეფრაქტომეტრია, როგორც რაოდენობითი ანალიზის მეთოდი (იხ. ქვემოთ).

დ) ს ი ნ ა თ ლ ი ს ტ ა ლ ღ ი ს ს ი გ რ ძ ე. გარდატეხის მაჩვენებელს, ჩვეულებრივ, საზღვრავენ ნატრიუმის შუქზე, რომლის ტალღის სიგრძე ტოლია 589,3 მმკ. თანამედროვე რეფრაქტომეტრთა უმრავლესობას აქვს სპეციალური ოპტიკური მოწყობილობა, ე. წ. „კომპენსატორი", რაც საშუალებას იძლევა გარდატეხის მაჩვენებელი განვსაზღვროთ ჩვეულებრივ სინათლეზე ან ელექტრონის მკრეალ შუქზე.

რეფრაქტომეტრების აღწერა და მათზე მუშაობის ტექნიკა

გარდატეხის მაჩვენებელი განისაზღვრება ხელსაწყოთი, რომელსაც რეფრაქტომეტრი ეწოდება.

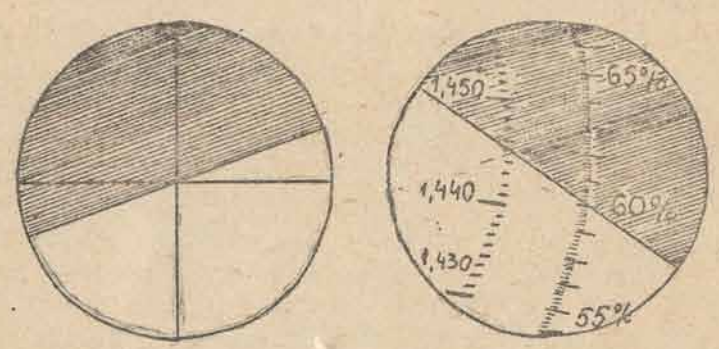
არსებობს სხვადასხვა სისტემის რეფრაქტომეტრი (აბეს, პულფრიხის, ჩასაყურსი, რეფრაქტომეტრი შაქრის განსასაზღვრად, ზეთებისა და ცხიმებისათვის და სხვ.).

ყველაზე მარტივი და მოხერხებულია **აბეს ტიპის** რეფრაქტომეტრი. მისი ძირითადი ნაწილებია ორი პრიზმა, რომელთა შორის თავსდება გამოსაკვლევი სითხის ფენა, სამხერი მილი (ოკულარი) და შკალა დანაყოფებით. გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრის წინ რეფრაქტომეტრის ქვედა პრიზმის მკრეალ ზედაპირს ფარავენ გამოსაკვლევი სითხის თხელი ფენით (საკმარისია 2—3 წვეთი), რის შემდეგ ქვედა პრიზმას ქანჩის საშუალებით მჭიდროდ მიაკრავენ ზედას. სინათლის სხივები სარკის საშუალებით გაივლის ქვედა პრიზმაში და გადატყდება, რაც გამოსაკვლევი სითხის ფენაში ზედა პრიზმის ზედაპირზე განიცდის სრულ შინაგან არეკვლას. სრული შინაგანი არეკვლის განმსაზღვრელი ხაზი წარმოადგენს ნათელი და დაჩრდილული სექტორების საზღვარს, რომელსაც აკვირდებიან რეფრაქტომეტრის ოკულარიდან. სხივის დაშლის (ცისარტყელას) თავიდან ასაცილებლად, ნათელი და დაჩრდილული სექტორების საზღვრის მკვეთრად გამოხატვის მიზნით, ამოძრავებენ კომპენსატორს ნათელი და დაჩრდილული სექტორების საზღვარს ხრახნის

საშუალებით აყენებენ ჯვარედინ ხაზთა გადაკვეთის წერტილზე (ნახ. 2 და 3).

ამის შემდეგ დანაყოფებიან შკალაზე მეორე ოკულარით აითვლიან გარდატეხის მაჩვენებელს მძიმის შემდეგ მეოთხე ციფრის სიზუსტით (უკანასკნელ ნიშანს დაახლოებით საზღვრავენ თვალით).

დაკვირვებას და ათვლას იმეორებენ ორჯერ, რის შემდეგ ანგარიშობენ საშუალო მონაცემს, ე. ი. სითხის გარდატეხის მაჩვენებელს.



ნახ. 2 ნახ. 3

ტემპერატურის რეგულირება ხდება წყლის ცირკულაციით სათანადო გარსაცმში, რომელიც აკრავს რეფრაქტომეტრის პრიზმებს. უმჯობესია წყლის ცირკულაცია სპეციალური თერმოსტატით. თუ ეს შეუძლებელია, მაშინ აუცილებელია ვისარგებლოთ ტემპერატურული ცდომილების შესასწორებელი ცხრილებით.

შაქრის განმსაზღვრელი რეფრაქტომეტრი მოქმედების პრინციპით არ განსხვავდება აბეს რეფრაქტომეტრისაგან. მას აქვს ზოგიერთი კონსტრუქციული თავისებურება, რომელთაგან მთავარია ის, რომ გარდატეხის მაჩვენებლის ათვლა ხდება თვით ნათელი და დაჩრდილული სექტორების საზღვარზე, როდესაც ამ საზღვარზე დაემთხვევა ავრეთვე ერთ ხაზზე მდებარე სამი მოძრავი შტრიხი (ნახ. 3).

გარდატეხის მაჩვენებლის გასწვრივ მდებარე პროცენტები შეესაბამება საქაროზის კონცენტრაციას მის ხსნარში.

ამჟამად პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ აბეს სისტემის რეფრაქტომეტრს — РЛ.

რეფრაქტომეტრ РЛ-ზე მუშაობის ტექნიკა ძირითადად ისეთივეა, როგორც ზემოთ განხილულ აბეს რეფრაქტომეტრზე. მთავარი განსხვავებაა ოკულარიდან მხედველობის არეს სურათში. მხედველობის არე რეფრაქტომეტრ РЛ-ის ოკულარში მსგავსია შაქრის განმსაზღვრელი რეფრაქტომეტრის ოკულარის მხედველობის არისა (ნახ. 3).

ოკულარი ობიექტივთან და კომპენსატორთან ერთად სახელურით შეიძლება გადაადგილდეს შკალის გასწვრივ, რომელზეც აითვლება გარდატეხის მაჩვენებელი — n მძიმის შემდეგ ოთხი ციფრის სიზუსტით (მეოთხე ციფრი აითვლება, დაახლოებით, თვალით).

გარდატეხის მაჩვენებლის შკალის მარჯვნივ არის მეორე შკალა „მშრალი ნივთიერების პროცენტი", რომლის დანაყოფები შეესაბამება საქაროზის რაოდენობრივ შემადგენლობას წყლიან ხსნარებში. განათების წყაროდ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც გამავალი, ისე ანარეკლი სხივი. პირველ შემთხვევაში სარკით სხივებს მიმართავენ გამნათი პრიზმის სარკმელში. ანარეკლ სხივებზე მუშაობისას უნდა მოიხსნას გამზომი პრიზმის სარკმლის სახურავი და მისკენ მიმართულ იქნეს მუქი სარკით (იხ. რეფრაქტომეტრისადმი თანდართული ინსტრუქციები).

აბეს რეფრაქტომეტრს ფართო შკალა აქვს და შეუძლია გაზომოს გარდატეხის კოეფიციენტი 1,3000—1,7000 ფარგლებში. შაქრის განმსაზღვრელ და РЛ რეფრაქტომეტრებს კი შეუძლია გაზომოს გარდატეხის კოეფიციენტი 1,300—1,540 ფარგლებში.

სიზუსტისათვის რეფრაქტომეტრი დროდადრო შემოწმებულ უნდა იქნეს. ამისათვის იყენებენ მონობრომნაფტალინს $n^{20°}$ — 1,6588 ან წყალს $n^{20°}$—1,3330. როდესაც ადგილი აქვს გადახრებს რეფრაქტომეტრის ჩვენებაში, მის რეგულირებას ახდენენ ინსტრუქციის შესაბამისად, რომელიც თან ერთვის აპარატს.

განსაზღვრის დამთავრებისას გამოსაკვლევი სითხის მოსაცილებლად ორივე პრიზმის ზედაპირი გულმოდგინედ უნდა ჩაირეცხოს

შესაბამისი გამხსნელით დასველებული ბამბის საშუალებით (პრიზმების ზედაპირის გასასუფთავებლად ხშირად ხმარობენ სპირტში ან ეთერში დასველებულ ბამბას); შემდეგ პრიზმის ზედაპირს ამშრალებენ ბამბით ან აბრეშუმის ქსოვილით.

ცხიმების, ცხიმოვანი და ეთეროვანი ზეთების და ზოგიერთი სხვა სამკურნალწამლო პრეპარატების თვისობრივ და რაოდენობრივ ანალიზში დიდი მნიშვნელობა აქვს გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრას, მაგრამ ჩვენ ამ საკითხზე დაწვრილებით არ შევჩერდებით, რადგან ასეთი მონაცემები მოყვანილია ფარმაკოპეაში.

ხვედრითი და მოლური რეფრაქცია

გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრას დიდი მნიშვნელობა აქვს ორგანულ და არაორგანულ ნივთიერებათა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების გამოკვლევის დროს. მისი საშუალებით განისაზღვრება ისეთი ფიზიკური კონსტანტა, როგორიცაა ხვედრითი რეფრაქცია და მოლური რეფრაქცია.

რეფრაქციას ამჟამად განიხილავენ, როგორც ელექტრული პოლარიზაციის სიდიდეს, რომელიც დაკავშირებულია ნივთიერების მოლეკულაში ელექტრონთა რხევის სიხშირესთან.

ლორენტც-ლორენცმა დაამტკიცეს, რომ ნივთიერების მოლეკულაზე ელექტრომაგნიტური რხევების მოქმედებით (ხილული სინათლის სხივების მოქმედებისას) ადგილი აქვს მხოლოდ ელექტრულ პოლარიზაციას.

დადგენილია, რომ ხილული სხივებისათვის ელექტრული პოლარიზაცია ერთი გრამმოლი ნივთიერებისათვის ტოლია მისი შესატყვისი რეფრაქციისა.

ხვედრითი რეფრაქცია ეს არის მუდმივი კოეფიციენტი, დამახასიათებელი მოცემული ნივთიერებისათვის, რომელიც არ არის დამოკიდებული გარემო ფაქტორებზე (ტემპერატურა, წნევა) და ნივთიერების აგრეგატულ მდგომარეობაზე. ხვედრითი რეფრაქციის გამოთვლისათვის მოწოდებულია ტოლობა: $r = \frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d}$, სადაც n — გარდატეხის მაჩვენებელია და d — სიმკვრივე.

მოლური რეფრაქცია R ეწოდება ხვედრითი რეფრაქციის ნამრავლს ნაერთის მოლეკულურ წონაზე და გამოისახება ტოლობით:

$$R_M = \frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{M}{d},$$

სადაც M მოლეკულური წონაა.

ამგვარად, მოლური რეფრაქცია გვევლინება მოლეკულის პოლარიზების ზომად და მას დიდი მნიშვნელობა აქვს ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების დადგენისას (ბ. ვ. იოფე, 1956).

რეფრაქტომეტრია, როგორც რაოდენობრივი ანალიზის მეთოდი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი n, სხვა ფაქტორებთან ერთად, დამოკიდებულია მის კონცენტრაციაზე; კონცენტრაციის გაზრდით გარდატეხის მაჩვენებელი იზრდება. ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრის შემდეგ ცხრილებში, რომელიც დადგენილია წინასწარ, შეიძლება მოინახოს მისი შესაბამისი კონცენტრაცია.

გარდატეხის მაჩვენებელი და ხსნარის კონცენტრაცია ურთიერთშორის რთულ ფუნქციურ დამოკიდებულებაშია; ეს დამოკიდებულება ზოგადად გამოიხატება ფორმულით: $n = n_0 + ap + bp^2 + cp^3 \ldots$, სადაც: n — ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელია, n_0 — გამხსნელის გარდატეხის კოეფიციენტი, p — გახსნილი ნივთიერების წონითი კონცენტრაცია; a, b და c — ემპირიული კოეფიციენტები.

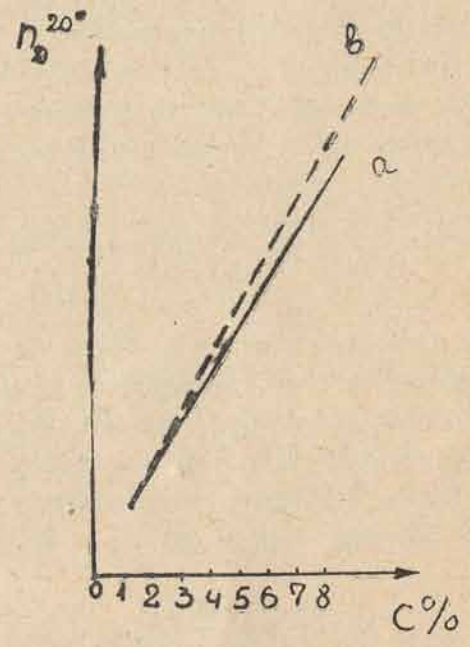
წინა-მოცულობითი კონცენტრაციით მომზადებული ხსნარებისათვის (გ/ლიტრში) მოწოდებულია უფრო მარტივი ფორმულა:

$$n = n_0 + ap$$

ამ ფორმულის თანახმად, გარდატეხის მაჩვენებელი უმეტეს შემთხვევაში პროპორციულად იზრდება კონცენტრაციის გაზრდისას, არც გრაფიკულად გამოიხატება სწორი ხაზით (ნახ. 4).

უნდა აღინიშნოს, რომ გარდატეხის მაჩვენებელსა და კონცენტრაციას შორის გრაფიკულად ყოველთვის არ არის სწორხაზოვანი დამოკიდებულება.

ზოგიერთი ნივთიერებისათვის ექსპერიმენტულად დადგენილია სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარების შესაბამისი გარდატეხის მაჩვენებლები და მოყვანილია ლიტერატურაში ცხრილების ან ფორმულების სახით.



ნახ. 4. დამოკიდებულება გარდატეხის მაჩვენებლისა კონცენტრაციასთან. a—წონა-მოცულობითი კონცენტრაცია, b—წონითი კონცენტრაცია

გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის გამოსაანგარიშებლად მოწოდებულია ფორმულა: $C = \frac{n - n_0}{F}$,

სადაც: C არის ხსნარის კონცენტრაცია პროცენტებში, n — ხსნა-

რის გარდატეხის მაჩვენებელი, n_0 — წყლის გარდატეხის მაჩვენებელი (20°-ზე მიჩნეულია 1,3330-ის ტოლად), F — შესაბამისი ფაქტორი, რომელიც ტოლია გარდატეხის მაჩვენებლის ზრდისა კონცენტრაციის 1%-ით გაზრდისას. (დადგინდება ექსპერიმენტულად).

მაგალითად, საჭიროა განისაზღვროს პროცენტული შემადგენლობა გლუკოზისა უცნობი კონცენტრაციის ხსნარში, რომელიც მომზადებულია წონა-მოცულობით. განსაზღვრავენ ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელს $n=1,3682$, წყლის გარდატეხის მაჩვენებელს $n=1,3330$. გლუკოზისათვის ფაქტორი $F=0,00142$.

$$C=\frac{1,3682-1,3330}{0,00142}=24,78\%$$ გლუკოზას.

ფიალკოვის და სოლცის მიერ მოწოდებულია სამკურნალწამლო ნარევებში (ორი ნივთიერების შემცველი) ინგრედიენტთა რაოდენობრივი განსაზღვრა რეფრაქტომეტრიით. ამისათვის იკვლევენ ნარევთა ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელს და შემდეგ ერთ-ერთ ინგრედიენტს საზღვრავენ ქიმიური მეთოდით. მეორე ნივთიერების კონცენტრაციას გამოითვლიან ფორმულით:

$$C=\frac{(n-n_0)-(C_1F_1)}{F_2},$$

სადაც: C — გამოსაკვლევი (მეორე) ნივთიერების კონცენტრაციაა, n — ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი, n_0 — გამხსნელის გარდატეხის მაჩვენებელი, C_1 — ქიმიური მეთოდით განსაზღვრული ნივთიერების კონცენტრაცია, F_1 — ქიმიური მეთოდით განსაზღვრული ნივთიერების ფაქტორი, F_2 — გამოსაკვლევი პრეპარატის ხსნარის ფაქტორი.

რეფრაქტომეტრიულად შეიძლება განისაზღვროს რთული ნარევებიც, თუ ცნობილია პრეპარატთა ფაქტორების (F) მნიშვნელობანი, რომლებიც შედიან წამლის შემადგენლობაში. ამ შემთხვევაში გამოანგარიშებას ახდენენ ფორმულით:

$$X=\frac{\{[n-n^0)-[(F_1C_1)+(F_2C_2)+(F_3C_3)]\}P}{F\cdot 100},$$

სადაც: X — გამოსაკვლევი პრეპარატის რაოდენობაა, n — ნარევის გარდატეხის მაჩვენებელი, n_0 — წყლის გარდატეხის მაჩვენებელი, F_1, F_2, F_3 — ნარევის შემადგენელ ნივთიერებათა ფაქტორები, გამოსაკვლევი ნივთიერების გარდა, C_1, C_2, C_3 — პრეპარატთა კონცენტრაცია ხსნარში (პროცენტებში), P — წონა წამლისა ან მომზადებული ხსნარისა, F_2 — გამოსაკვლევი პრეპარატის შესაბამისი ფაქტორი.

რთული ნარევის კომპონენტთა განსაზღვრის დროს რეფრაქტომეტრულად ცთომილება საკმაოდ დიდია, რის გამოც პრაქტიკულად ნაკლებად სარგებლობენ ამ მიზნით (მყარი ბინალური ნარევების რეფრაქტომეტრიული განსაზღვრის შესახებ იხ. ბუშკოვა, ვაისმანი, რაპოპორტი, 1965).

მითითებანი ხსნარებში სამკურნალწამლო ნივთიერებათა კონცენტრაციის განსასაზღვრავი რეფრაქტომეტრიული ცხრილების შესახებ

ქვემომოყვანილი ცხრილები ორი სახისაა:

I — რეფრაქტომეტრიული ცხრილები წონა-მოცულობითი კონცენტრაციით მომზადებულ სამკურნალწამლო ნივთიერებათა ხსნარების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის.

II — ასეთივე ცხრილები წონითი კონცენტრაციის სამკურნალ-წამლო ნივთიერებათა ხსნარების განსაზღვრისათვის.

ცხრილებით სარგებლობის წესი ერთნაირია, მაგრამ ერთის მაგივრად მეორის გამოყენება შეცდომაში შეგვიყვანს, განსაკუთრებით კი დიდი კონცენტრაციების შემთხვევაში.

ცხრილებში მოყვანილია სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნართა გარდატეხის მაჩვენებლები ხსნარის კონცენტრაციის ზრდის შესაბამისად. ზოგიერთ ნივთიერებათა ცხრილები ვერ თავსდება ერთ რიგში და გრძელდება მომდევნოში.

ცხრილებში მოყვანილია გარდატეხის მაჩვენებლები მძიმის შემდეგ სამი ციფრის სიზუსტით. მძიმის შემდეგ მეოთხე ციფრის საჭიროების შემთხვევებში (როდესაც ხაზი ზუსტად არ ემთხვევა დანაყოფს) მას აითვლიან დაახლოებით.

როდესაც ცხრილებში მოცემული გარდატეხის მაჩვენებელი ზუსტად არ ემთხვევა ჩვენ მიერ ექსპერიმენტულად განსაზღვრულს და ამის გამო ვერ ხერხდება კონცენტრაციის ზუსტად ათვლა, ასეთ შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კონცენტრაციის გამოსაანგარიშებელი ზემომოყვანილი ფორმულა:

$$C = \frac{n - n_0}{F}$$

ფაქტორის (F) მნიშვნელობა იხილეთ შესაბამის ცხრილებში, ცალ-ცალკე წონა-მოცულობითი და წონითი კონცენტრაციებისათვის.

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	ხსნარის კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	ხსნარის კონცენტრაცია პროც.	
	ალბუციდი	კალციუმ-ქლორიდი		ალბუციდი	კალციუმ-ქლორიდი
1,3340	0,5	0,80	1,3670	17,10	30,70
1,3350	1,0	1,60	1,3680	17,60	31,60
1,3360	1,6	2,40	1,3690	18,10	32,60
1,3370	2,10	3,20	1,3700	18,60	33,60
1,3380	2,60	4,00	1,3710	19,10	34,50
1,3390	3,10	5,00	1,3720	19,60	35,40
1,3400	3,60	5,80	2,3730	20,10	36,40
1,3410	4.10	6,60	1,3740	20,60	37,30
1,3420	4,60	7,40	1,3750	21,10	38,20
1,3430	5,10	8,30	1,3760	21,60	39,20
1,3440	5,60	9,20	1,3770	22,10	40.10
1,3450	6,10	10,00	1,3780	22,60	41,00
1,3460	6,60	10,90	1,3790	23,10	42,00
1,3470	7,10	11,80	1,3800	23,60	43,00
1,3480	7,60	12,80	1,3810	24,10	44,00
1,3490	8,10	13,80	1,3820	24,60	44,90
1,3500	8,60	14,60	1,3830	25,10	45,90
1,3510	9,10	15.60	1,3840	25,60	46,80
1,3520	9,60	16,60	1,3850	26,10	47,80
1,3530	10,10	17,50	1,3860	26,60	48,70
1,3540	10,60	18,50	1,3870	27,10	49,60
1,3550	11,10	19,40	1,3880	27,60	50,60
1,3560	11,60	20,30	1,3890	28,10	51,50
1,3570	12,10	21,20	1,3900	28,60	52,40
1,3580	12,60	22,20	1,3910	29,10	
1,3590	13,10	23,10	1,3920	29,60	
1,3600	13,60	24,00	1,3930	30,10	
1,3610	14,10	25,00	1,3940	30,60	
1,3620	14,60	26,00	1,3950	31,10	
1,3630	15,10	26,90	1,3960	31,60	
1,3640	15,60	27,90	1,3970	32,10	
1,3650	16,10	28,80	1,3980	32,60	
1,3660	16,60	29,70	1,3990	33,10	

ცხრილი 2

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	ხსნარის კონცენტრაცია პროც.							
	ქლორიდ მჟავინდი	ქლორიდ-ნატრიუმ-სალიცილატი	ნოვოკაინი	კოდეინ-ფოსფატი	ეფედრინი	ასკორბინის მჟავე	პირიგ

-ნი | ნატრიუმ-ბიკარბონატი |
1,3340	0,8	0,55	0,45	0.55	0,50	0,62	0,44	0,8
1,3350	1,70	1,10	0,90	1,15	1,00	1,24	0,89	1,6
1,3360	2,60	1,65	1,35	1,70	1,50	1,88	1,34	2,4
1.3370	3,43	2,20	1,80	2,25	2,00	2,52	1,80	3,2
1,3380	4,30	2,75	2,25	2,80	2,50	3,16	2,25	4,0
1,3390	5,20	3,30	2,70	3,35	3,00	3,80	2,70	4,80
1,3400	6,10	3,85	3,15	3,90	3,50	4,44	3,16	5,60
1,3410	6,90	4,40	3,60	4,45	4,00	5,08	3,62	
1,3420	7,80	4,95	4,05	5,00	4,50	5,72	4,08	
1,3430	8,70	5,50	4,50	5,55	5,00	6,36	4,54	
1,3440	9,60	6,05	4,95	6,10	5,50	7,00	5,00	
1,3450	10,50	6,60	5,40	6,65	6,00	7,64		
1,3460	11,30	7,15	5,85	7,20	6,50	8,28		
1,3470	12,20	7,75	6,35	7,75	7,00	8,92		
1,3480	13,10	8,30	6,80	8,30	7,50	9,56		
1,3490	14,00	8,85	7,25	8,85	8,00	10,20		
1,3500	14,80	9,40	7,70	9,40	8,50			
1,3510	15,70	9,95	8,15	10,00	9,00			
1,3520	16,66	10,55	8,65	11,55				
1,3530	17,50	11,10	9,15	11,10				
1,3540	18,40	11,65	9,55					
1,3550	19,30	12.20	10,00					
1,3560	20,10	12,75	10,45					
1,3570	21,00	13,30	10,90					
1,3580	21,90	13,85						
1,3590	23.80	14,40						
1,3600	23,60	14,95						
1 3610	24,50	15,50						

ცხრილი 3

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	გლუკოზა უწყლო*	ურეოტროპინი		გლუკოზა უწყლო*	ურეოტროპინი		გლუკოზა უწყლო*	ურეოტროპინი
1,3340	0,70	0,6	1.3580	17,50	14,15	1,3820	34,40	27,60
1,3350	1,40	1,20	1.3590	18,20	14,75	1.3830	35,10	28,20
1,3360	2,10	1.75	1.3600	18,90	15,30	1,3840	35,80	28,75
1,3370	2.80	2,30	1,3610	19,60	15,85	1,3850	36,50	29,30
1,3380	3,50	2,85	1.3620	20,30	16,40	1,3860	37,20	29,90
1,3390	4,20	3,40	1,3630	21,00	17,00	1,3870	37,90	30,45
1,3400	4,90	4,00	1,3640	21,70	17,55	1,3880	38,60	31,05
1,3410	5,60	4,55	1,3650	22,40	18,10	1,3890	39,30	31,55
1,3420	6,30	5,10	1,3660	23,10	18,65	1,3900	40,00	32,15
1,3430	7,00	5,65	1,3670	23,80	19,20	1,3910	40,70	32,70
1,3440	7,70	6,20	1,3680	24,50	19,75	1,3920	41,40	33,30
1,3450	8,40	6,80	1,3690	25,30	20,30	1,3930	42,10	33,85
1,3460	9,10	7,40	1,3700	26,00	20,85	1,3940	42,80	34,40
1,3470	9,80	7,95	1,3710	26,70	21,40	1,3950	43,50	34,95
1,3480	10,50	8,50	1,3720	27,40	22,00	1,3960	44,20	35,50
1,3490	11,20	9,05	1,3730	28,10	22,55	1,3970	44,90	36,05
1,3500	11,90	9,60	1,3740	28,80	23,15	1,3980		36,60
1,3510	12,60	10,15	1,3750	29,50	23,70	1,3990		37,15
1,3520	13,30	10,70	1.3760	30,20	24,25	1,4000		37,70
1,3530	14,00	11,30	1,3770	30,90	24,85	1,4010		38,30
1,3540	14.70	11,85	1,3780	31,60	25,40	1,4020		38,85
1,3550	15,40	12,40	1,3790	32,30	25,95	1,4030		39,40
1,3560	16,10	13,00	1,3800	33,00	26,50	1,4040		39,95
1,3570	16,80	13,60	1,3810	33,70	27,05	1,4050		40,50

* გლუკოზის ხსნარის კონცენტრაციის საბოლოო გამოსაანგარიშებლად ცხრილში აღნიშნულ პროცენტს უნდა დაემატოს ამ უკანასკნელის 10% (კრისტალიზაციური წყლის).

ცხრილი 4

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	მაგნიუმ-სულფატი	ნატრიუმ-ქლორიდი		მაგნიუმ-სულფატი	ნატრიუმ-ქლორიდი
1,3340	1,20	0,60	1,3580	27,90	14,70
1,3350	2,40	1,20	1,3590	29,00	15,30
1,3360	3,50	1,80	1,3600	30,10	15,85
1,3370	4,60	2,40	1,3610	31,20	16,40
1,3380	5,70	3,00	1,3620	32,30	17,00
1,3390	6,80	3,60	1,3630	33,40	17,60
1,3400	7,90	4,20	1,3640	34,50	18,20
1,3410	9,00	4,80	1,3650	35,60	18,80
1,3420	10 10	5,40	1,3660	36,70	19,40
1,3430	11,20	5,95	1,3670	37,80	19,96
1,3440	12,30	6,50	1,3680	39,00	20,50
1,3450	13,40	7,05	1,3690	40,10	21,10
1,3460	14,50	7,65	1,3700	41,20	21,70
1,3470	15,60	8,20	1,3710	42,30	22,25
1,3480	16,70	8,80	1,3720	43,40	22,80
1,3490	17,80	9,40	1,3730	44,50	23,40
1,3500	18,90	10,00	1,3740	45,60	24,00
1,3510	20,00	10,50	1,3750	46,80	24,60
1,3520	21,10	11,20	1,3760	47,90	25,20
1,3530	22,20	11,80	1,3770	49,00	
1,3540	23,30	12,40	1,3780	50,10	
1,3550	24,40	12,95	1,3790	51,20	
1,3560	25,60	13,50	1,3800	52,30	
1,3570	26,80	14,10	1,3810	53,40	

ცხრილი 5

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.						
	ქლორალ-ჰიდრატი	ნატრიუმ-ბრომიდი	ნატრიუმ-ბენზოატი	ნატრიუმსა-ლიცილატი	კალიუმ-იოდიდი	ნატრიუმ-იოდიდი	კოფეინ-ნატრიუმ-ბენზოატი
1,3340	0,90	0,80	9,50	0,50	0,70	0,80	0,60
1,3350	1,80	1,50	1,00	1,00	1,50	1,60	1,20
1,3360	2,65	2,30	1,45	1,45	2,25	2,40	1,70
1,3370	3,50	3,00	1,95	1,90	3,00	3,20	2,20
1,3380	4,35	3,80	2,45	2,40	3,80	3,95	2,70
1,3390	5,25	4,60	2,90	2,90	4,60	4,70	3,20
1,3400	6,15	5,30	3,35	3,40	5,40	5,45	3,70
1,3410	7,00	6,10	3,85	3,90	6,20	6,20	4,30
1,3420	7,90	6,90	4,20	4,35	7,00	6,95	4,70
1,3430	8,80	7,60	4,80	4,80	7,80	7,70	5,20
1,3440	9,70	8,40	5,25	5,20	8,55	8,50	5,70
1,3450	10,60	9,15	5,75	5,80	9,35	9,25	6,20
1,3460	11,50	10,00	6,25	6,30	10,15	10,00	6,70
1,3470	12,40	10,70	6,75	6,80	10.95	10,80	7,20
1,3480	13,30	11,45	7,25	7,30	11,70	11,55	7,70
1,3490	14,15	12,20	7,70	7,75	12 50	12,30	8,20
1,3500	15,00	13,00	8,15	8,25	13,35	13,10	8,70
1,3510	15,90	13,75	8,60	8,75	14,00	13,65	9,20
1,3520	16,80	14,50	9,15	9,20	14,80	14,60	9,70
1,3530	17,70	15,25	9,65	9,70	15,60	15,40	10,20
1,3540	18,60	16,00	10,10	10,20	16,40	16,15	10,70
1,3550	19,50	16,75	10,60	10,70	17,20	16,90	11,20
1,3560	20,40	17,50	11,05	11,15	18,00	17,70	11,70
1,3570	21,30	18,25	11,55	11,65	18,80	18,45	12,20
1,3580	22,20	19,00	12,00	12,15	19,55	19,20	12,70
1,3590	23,10	19,75	12,50	12,60	20,35	20,00	13,20
1,3600	24,00	20,50	13,00	13,10	21,10	20,75	13,70
1,3610	24,85	21,25	13,50	13,60	21,90	21,55	14,20
1,3620	25,75	22,00	14,00	14,10	22,70	22,30	14,70
1,3630	26,60	22,75	14,50	14,55	23,50	23,10	15,20
1,3640	27,50	23,50	15,00	15,00			
1,3650	28,40	24,25	15,50				
1,3660	29,30	25,00					
1,3670	30,20						

ცხრილი 6

წოწა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	ანტიპირინი	ბენზომეავა სფეროფიზინი		ანტიპირინი	ბენზომეავა სფეროფიზინი
1,3340	0,44	0,48	1,3610	12,41	13,41
1,3350	0,88	0,96	1,3620	12,85	13,88
1,3360	1,33	1,43	1,3630	13,28	14,35
1,3370	1,77	1,91	1,3640	13,71	14,83
1,3380	2,21	2,40	1,3650	14,15	15,31
1,3390	2,65	2,88	1,3660	14,59	15,79
1,3400	3,09	3,37	1,3670	15,03	16,27
1,3410	3,54	3,85	1,3680	15,48	16,75
1,3420	3,98	4,34	1,3690	15,93	17,24
1,3430	4,42	4,84	1,3700	16,37	17,72
1,3440	4,87	5,33	1,3710	16,81	18,20
1,3450	5,31	5,81	1,3720	17,25	18,68
1,3460	5,75	6,30	1,3730	17,69	19,15
1,3470	6,19	6,78	1,3740	18,13	19,63
1,3480	6,64	7,27	1,3750	18,57	20,11
1,3490	7,08	7,75	1,3760	19,02	20,59
1,3500	7,52	8,24	1,3770	19,46	21,07
1,3510	7,96	8,72	1,3780	19,90	21,55
1,3520	8,40	9,20	1,3790	20,34	
1,3530	8,84	9,57	1,3800	20,78	
1,3540	9,28	10,05			
1,3550	9,77	10,53			
1,3560	10,21	11,02			
1,3570	10,65	11,50			
1,3590	11,53	12,46			
1,3600	11,97	12,93			

ცხრილი 7

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	ნატრიუმ-ციტრატი	ნატრიუმ-პარაამინოსალიცილატი		ნატრიუმ-ციტრატი	ნატრიუმ-პარაამინოსალიცილატი
1,3340	0,69	0,50	1,3580	17,11	12,50
1,3350	1,38	1,00	1,3590	17,80	13,00
1,3360	2,06	1,50	1,3600	18,49	13,50
1,3370	2,76	2,00	1,3610	19,17	14,00
1,3380	3,42	2,50	1,3620	19,86	14,50
1,3390	4,10	3,00	1,3630	20,54	15,00
1,3400	4,79	3,50	1,3640	21,23	
1,3410	5,47	4,00	1,3650	21,91	
1,3420	6,15	4,50	1,3660	22,60	
3,3430	6,88	5,50	1,3670	23,28	
1,3440	7,52	5,00	1,3680	23,97	
1,3450	8,20	6,00	1,3690	24,65	
1,3460	8,89	6 50	1,3700	25,36	
1,3470	9,57	7,00	1,3710	26,08	
1,3480	10,26	7,50	1,3720	26,82	
1,3490	10,94	8,00	1,3730	67,58	
1,3500	11,54	8,50	1,3740	27,20	
1,3510	12,32	9,00	1,3750	29,09	
1,3520	13,01	9,50	1,3760	29,71	
1,3530	13,69	10,00	1,3770	30,42	
1,3540	14,37	10,50			
1,3550	15,06	11,00			
1,3560	15,74	11,50			
1,3570	16,43	12,00			

ცხრილი 8

წონა-მოცულობით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაციაა პროც.						
	ფენატონი	სპაზმოლიტონი	თიამინ-ბრომიდი (ვიტამინი B_1)	კალციუმ გლუკონატი	ტიფენი	პირამიდონი	ნიკოტინ-მჟავა
1,3340	0,61	0,52	0,48	0,66	0,47	0,57	0,50
1,3350	1,21	1,04	0,95	1,32	0,94	1,13	1,00
1,3360	1,82	1,55	1,43	1,98	1,40	1,70	1,50
1,3370	2,43	2,07	1,90	2,64	1,87	2,27	2,00
1,3380	3,03	2,60	2,38	3,31	1,33	2,86	2,50
1,3390	3,64	3,12	2,85	3,97	2,80	3,44	3,00
1,3400	4,24	3,63	3,33	4,63	3,27	4,01	
1,3410	4,85	4,14	3,80	5,29	3,73	4,59	
1,3420	5,45	4,66	4,28	6,00	4,20	5,16	
1,3430	6,06	5,18	4,76	6,62	4,67	5,74	
1,3440	6,66	5,69	5,24	7,28	5,14		
1,3450	7,27	6,20	5,71	7,94			
1,3460	7,87	6,72	6,19	8,60			
1,3470	8,48	7,24	6,67	9,26			
1,3480	9,08	7,75	7,14	9,53			
1,3490	9,69	8,28	7,62	10,64			
1,3500	10,30	8,80	8,10				
1,3510	10,91	9,32	8,57				
1,3520	11,51	9,83	9,05				
1,3530	12,12	10,35	9,53				
1,3540	12,73	10,87	10,00				
1,3550	13,33						
1,3560	13,94						
1,3570	14,54						
1,3580	15,16						

ცხრილი 9

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	ალბუციდი	კალციუმ-ქლორიდი		ალბუციდი	კალციუმ-ქლორიდი
1,3340	0,52	0,80	1,3680	17,07	28,00
1,3350	1,04	1,60	1,3690	17,48	28,80
1,3360	1,56	2,40	1,3700	17,96	29,60
1,3370	2,08	3,20	1,3710	18,38	30,30
1,3380	2,60	4,00	1,3720	18,84	31,00
1,3390	3,11	4,80	1,3730	19,28	31,70
1,3400	3,62	5,60	1,3740	19,71	32,40
1,3410	4,13	6,40	1,3750	20,15	33,10
1,3420	4,64	7,20	1,3760	20,57	33,80
1,3430	5,13	8,00	1,3770	21,05	34,50
1,3440	5,64	8,80	1,3780	21,53	35,20
1,3450	6,15	9,80	1,3790	21,96	36,00
1,3460	6,63	10,60	1,3800	22,38	36,70
1,3470	7,11	11,40	1,3810	22,85	37,40
1,3480	7,61	12,20	1,3820	23,27	38,10
1,3490	8,10	13,00	1,3830	23,70	38,80
1,3500	8,58	13,80	1,3840	24,12	39,50
1,3510	9,09	14,60	1,3850	24,52	40,10
1,3520	9,60	15,40	1,3860	25,00	40,80
1,3530	10,10	16,20	1,3870	25,35	41,50
1,3540	10,55	17,00	1,3880	25,82	42,20
1,3550	11,00	17,80	1,3890	26,26	43,00
1,3560	11,50	18,60	1,3900	26,68	43,70
1,3570	11,94	19,40	1,3910	27,08	44,40
1,3580	12,44	20,00	1,3920	27,49	45,00
1,3590	12,93	20,80	1,3930	27,90	45,70
1,3600	13,35	21,60	1,3940	28,25	46,40
1,3610	13,84	22,40	1,3950	28,70	47,10
1,3620	14,29	23,20	1,3960	29,16	47,89
1,3630	14,79	24,00	1,3970	29,56	48,50
1,3640	15,20	24,80	1,3980	30,00	49,20
1,3650	15,69	25,60	1,3990	30,38	50,00
1,3660	16,14	26,40	1,4000	30,78	50,70
1,3670	16,59	27,20	1,4010	36,16	51,40

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.							
	კოფეინ-ნიტ-ბენზ-ქალ-ცილატი	კოლეინ-ბრომიდი	კოდეინის ფოსფატი	ასკორბინის მეჟავა	ნოვოკაინი	ფენაზონი	პირამიდონი	ნატრიუმ ბიკარბონატი
1,3340	0,55	0,81	0,48	0,60	0,44	0,45	0,45	0,90
1,3350	1,10	1,62	1,00	1,25	0,87	0,94	0,91	1,60
1,3360	1,70	2,43	1,52	1,90	1,30	1,42	1,37	2,30
1,3370	2,25	3,23	2,08	2,50	1,74	1,91	1,83	3,00
1,3380	2,80	4,03	2,62	3,10	2,18	2,40	2,29	3,66
1,3390	3,40	4,82	3,16	3,75	2,62	2,88	2,75	4,35
1,3400	3,95	5,61	3,68	4,35	3,06	3,36	3,20	5,19
1,3410	4,50	6,40	4,24	4,95	3,50	3,85	3,65	
1,3420	5,05	7,18	4,80	5,60	3,94	4,34	4,10	
1,3430	5,60	7,96	5,34	6,20	4,40	4,84	4,55	
1,3440	6,15	8,74	5,88	6,80	4,84	5,30	5,00	
1,3450	6,70	9,51	6,42	7,40	5,28	5,79		
1,3460	7,30	10,28	6,96	8,00	5,72			
1,3470	7,85	11,04	7,48	8,60	6,16			
1,3480	8,40	11,80	8,00	9,20	6,60			
1,3490	8,95	12,56	8,56	9,90	7,04			
1,3500	9,50	12,31	9,08	10,50	7,48			
1,3510	10,05	14,04	9,60	11,10				
1,3520	10,60	14,77	10,16	11,70				
1,3530	11,15	10,50	10,70	12,40				
1,3540	11,70	16,23	11,24	13,00				
1,3550	12,30	16,96	11,78	13,60				
1,3560	12,55	17,69	12,32	14,30				
1,3570	13,49	18,42	12,86	14,95				
1,3580	13,95	19,14	13,40					
1,3590	14,50	19,84	13,94					
1,3600	15,05	20,60	14,48					
1,3610	15,60	21,34	15,00					
1,3620	16,30	22,74						
1,3630	17,3							

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია %-ში		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია %-ში		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია %-ში	
	ურეოტროპინი	გლუკოზა უწყლო*		ურეოტროპინი	გლუკოზა უწყლო		ურეოტროპინი	გლუკოზა უწყლო
1,3340	0,60	0,70	1,3610	15,72	18,54	1,3880	29,75	34,37
1,3350	1,17	1,40	1,3620	16,25	19,10	1,3890	30,26	34,93
1,3360	1,75	2,12	1,3630	16,78	19,74	1,3900	30,76	35,43
1,3370	2,33	2,80	1,3640	17,32	20,39	1,3910	31,26	35,94
1,3380	2,97	3,50	1,3650	17,86	20,91	1,3940	31,76	36,44
1,3390	3,49	4,19	1,3660	18,40	21,57	1,3930	32,25	36,95
1,3400	4,07	4,89	1,3670	18,94	22,14	1,3940	32,74	37,48
1,3410	4,64	5,56	1,3680	19,47	22,73	1,3950	33,23	38,04
1,3420	5,21	6,20	1,3690	20,00	23,27	1,3960	33,74	38,65
1,3430	5,78	6,89	1,3700	20,53	23,87	1,3970	34,23	39,12
1,3440	6,34	7,58	1,3710	21,07	24,50	1,3980	34,71	39,70
1,3450	6,92	8,22	1,3720	21,58	25,10	1,3990	35,20	40,24
1,3460	7,48	8,90	1,3730	22,10	25,64	1,4000	35,69	40,85
1,3470	8,04	9,58	1,3740	22,62	26,18	1,4010	36,18	
1,3480	8,60	10,20	1,3750	23,13	26,82	1,4020	36,37	
1,3490	9,15	10,88	1,3760	23,64	27,42	1,4030	37,15	
1,3500	9,71	11,49	1,3770	24,19	28,03	1,4040	37,63	
1,3510	10,26	12,16	1,3780	24,69	28,66	1,4050	38,10	
1,3520	10,82	12,83	1,3790	25,19	29,13	1,4060	38,58	
1,3530	11,31	13,51	1,3800	25,68	29,75	1,4070	39,06	
1,3540	11,91	14,10	1,3810	26,19	30,37	1,4080	39,53	
1,3550	12,46	14,76	1,3820	26,70	30,94	1,4090	40,00	
1,3560	13,00	15,33	1,3830	27,21	31,47	1,4100	40,48	
1,3570	13,55	16,00	1,3840	27,72	32,08	1,4110	40,96	
1,3580	14,10	16,56	1,3850	28,23	32,70	1,4120	41,42	
1,3590	14,65	17,21	1,3360	28,74	33,19	1,4130	41,90	
1,3600	15,19	17,88	1,3370	29,25	33,75	1,4140	41,37	

* გლუკოზის ხსნარის კონცენტრაციის გამოსაანგარიშებლად ცხრილში აღნიშნულ პროცენტს უნდა დაემატოს ამ უკანასკნელის 10% (კრისტალჰიდრატის).

ცხრილი 12

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	ნატრიუმ-ქლორიდი	მაგნიუმ სულფატი		ნატრიუმ-ქლორიდი	მაგნიუმ სულფატი
1,3340	0,85	—	1,3630	16,95	30,62
1,3350	1,10	2,07	1,3640	17,50	31,63
1,3360	1,70	3,10	1,3650	18,05	32,64
1,3370	2,25	4,13	1,3660	18,60	33,64
1,3380	2,85	5,17	1,3670	19,15	34,66
1,3390	3,45	6,20	1,3680	19,70	35,64
1,3400	4,00	7,23	1,3690	20,30	36,64
1,3410	4,55	8,25	1,3700	20,85	37,64
1,3420	5,10	9,27	1,3710	21,40	38,64
1,3430	5,70	10,30	1,3720	21,95	39,64
1,3440	6,30	11,32	1,3730	22,50	40,64
1,3450	6,85	12,33	1,3740	23,05	41,64
1,3460	7,40	13,36	1,3750	23,60	42,64
1,3470	8,00	14,37	1,3760	24,15	43,64
1,3480	8,55	15,40	1,3770	24,70	44,64
1,3490	9,10	16,42	1,3780	25,30	45,64
1,3500	9,70	17,44	1,3790	25,85	46,64
1,3510	10,25	18,46	1,3800	26,40	47,64
1,3530	10,80	19,48	1,3810	27,00	48,64
1,3530	11,40	20,50	1,3820	27,55	49,64
1,3540	12,00	21,52	1,3830	28,05	50,64
1,3550	12,50	22,54	1,3840	28,60	
1,3560	13,00	23,56	1,3850	29,20	
1,3580	13,60	24,58	1,3860	29,80	
1,3570	14,15	25,60	1,3870	30,35	
1,3590	14,70	26,61	1,3880	30,90	
1,3600	15 30	27,62	1,3890	31,45	
1,3610	15,85	38,62	1,3900	32,00	
1,3620	16,40	29,62	1,3910		

ცხრილი 13

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	ხსნართა კონცენტრაცია პროც.						
	ნატრიუმ-ბრომიდი	ნატრიუმ-იოდიდი	კოდეინ-ნატრიუმ-ბენზოატი	კალიუმ-ბრომიდი	ნატრიუმ-სალიცილატი	ქლორალ-ჰიდრატი	ნატრიუმ-ბენზოატი
1,3340	0,70	0,66	0,50	0,26	0,50	0,85	0,47
1,3350	1,40	1,33	0,96	1,52	1,00	1,70	0,94
1,3360	2,09	2,00	1,44	2,27	1,50	2,40	1,41
1,3370	2,79	2,60	1,91	3,03	2,00	3,20	1,88
1,3380	3,49	3,24	2,39	3,76	2,50	4,00	2,35
1,3390	4,16	3,88	2,87	4,49	3,00	4,80	2,82
1,3400	4,83	4,51	3,34	5,22	3,49	5,60	3,30
1,3410	5,52	5,12	3,82	5,92	3,98	6,40	3,77
1,3420	6,16	5,73	4,28	6,64	4,46	7,20	4,24
1,3430	6,85	6,35	4,76	7,35	4,93	8,00	4,70
1,3440	7,53	6,96	5,23	8,03	5,39	8,80	5,16
1,3450	8,11	7,56	5,71	8,70	5,85	9,60	5,62
1,3460	8,75	8,16	6,19	9,40	6,31	10,40	6,08
1,3470	9,45	8,76	6,66	10,07	6,76	11,20	6,54
1,3480	10,07	9,35	7,14	10,71	7,21	12,00	7,00
1,3490	10,74	9,92	7,58	11,38	7,66	12,80	7,46
1,3500	11,40	10,49	8,05	12,03	8,11	13,60	7,92
1,3510	12,03	11,07	8,53	12,67	8,56	14,40	8,37
1,3520	12,67	11,65	9,00	13,30	9,00	15,20	8,82
1,3530	13,33	12,22	9,43	13,94	9,43	16,00	9,27
1,3540	13,91	12,79	9,90	14,58	9,86	16,80	9,72
1,3550	14,57	13,35	10,37	15,22	10,29	17,60	10,17
1,3560	15,12	13,91	10,84	15,86	10.72	18,40	10,62
1,3570	15,68	14,46	11,32	16,48	11,15	19,20	
1,3580	16,34	15,01	11,80	17,10	11,58	20,00	
1,3590	17,00	15,57	12,26	17,70	12,00	20,80	
1,3600	17,60	16,12	12,68	18,30	12,42	21,60	
1,3610	18,18	16,66	13,14	18,88	12,84	22,40	
1,3620	18,71	17,21	13,61	19,47	13,25	23.20	
1,3630	19,35	17,75	14,08	20,06	13,66	24,00	
1,3640	20,00	18,29	14,50	20,66	14,07		
1,3650	20,64	18,82	14,96	21,66			
1,3660	21,29	19,35	15,42				
1,3670	21,80	19,85	15,88				

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	ანტიპირინი	ბენზომეავა სფეროფზინი		ანტიპირინი	ბენზომეავა სფეროფზინი
1,3340	0,44	0,48	1,3570	10,35	11,06
1,3350	0,87	0,97	1,3580	10,77	11,54
1,3360	1,30	1,46	1,3590	11,20	12,03
1,3370	1,73	1,93	1,3600	11,64	12,47
1,3380	2,18	2,41	1,3610	12,08	13,00
1,3390	2,63	2,88	1,3620	12,50	13,40
1,3400	3,07	3,36	1,3630	12,92	13,80
1,3410	3,50	3,84	1,3640	13,31	14,15
1,3420	3,94	4,32	1,3650	13,74	14,50
1,3430	4,40	4,79	1,3660	14,16	14,95
1,3440	4,83	5,24	1,3670	14,58	15,40
1,3450	5,28	5,70	1,3680	15,00	15,84
1,3460	5,70	6,16	1,3690	15,33	16,26
1,3470	6,10	6,63	1,3700	15,74	16,72
1,3480	6,52	7,10	1,3710	16,16	17,19
1,3490	6,96	7,57	1,3720	16,58	17,63
1,3500	7,39	8,04	1,3730	17,02	18,07
1,3510	7,82	8,50	1,3740	17,44	18,50
1,3520	8,28	8,97	1,3750	17,86	18,90
1,3530	8,65	9,40	1,3760	18,23	19,30
1,3540	9,09	9,81	1,3770	18,60	19,70
1,3550	9,50	10,23	1,3780	19,00	20,10
1,3560	9,92	10,65	1,3790	19,38	
			1,3800	19,75	

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.		ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელი	კონცენტრაცია პროც.	
	ნატრიუმ-ციტრატი	ნატრიუმპარა-ამინოსალი-ცილატი		ნატრიუმ-ციტრატი	ნატრიუმპარა-ამინოსალი-ცილატი
1,3340	0,69	0,50	1,3590	16,66	12,27
1,3350	1,38	1,00	1,3600	17,29	12,70
1,3360	2,06	1,50	1,3610	17,92	13,18
1,3370	2,75	2,00	1,3620	18,50	13,65
1,3380	3,40	2,50	1,3630	19,10	14,10
1,3390	4,07	3,00	1,3640	19,74	14,55
1,3400	4,75	3,47	1,3650	20,38	14,90
1,3410	5,45	3,96	1,3660	21,00	
1,3420	6,05	4,40	1,3670	21,60	
1,3430	6,66	4,90	1,3680	22,20	
1,3440	7,33	5,34	1,3690	22,80	
1,3450	8,00	5,78	1,3700	23,30	
1,3460	8,65	6 22	1,3710	23,75	
1,3470	9,26	6,69	1,3720	24,35	
1,3480	9,87	7,17	1,3730	25,00	
1,3490	10,47	7,60	1,3740	25,26	
1,3500	11,10	8,09	1,3750	26,20	
1,3510	11,72	8,56	1 3760	26,80	
1,3520	12,35	9,05	1,3770	27,33	
1,3530	13,00	9,47	1,3780	27,88	
1,3540	13,63	9,95	1,3790	28,42	
1,3550	14,26	10,40	1,3800	29,01	
1,3590	14,88	10,87	1,3810	29,53	
1,3570	15,45	11,32	1,3820	30,06	
1,3580	16,02	11,80			

წონითი შეფარდებით მომზადებული ხსნარების გარდატეხის მაჩვენებელთა დამოკიდებულება კონცენტრაციასთან

ხსნარის გარ-დატეხის მაჩ-ვენებელი	კონცენტრაცია პროც.						
	ფენატონი	სპაზმო-ლიტინი	თიამინ-ბრომიდი	კალციუმ-გლუკო-ნატი	ტიფენი	პრომე-დოლი	ნიკოტინ-მჟავა
1,3340	0,61	0,52	0,48	0,67	0,47	0,55	0,48
1,3350	1,20	1,04	0,95	1,33	0,94	1,08	0,96
1,3360	1,78	1,56	1,43	2,00	1,40	1,63	1,44
1,3370	2,35	2,06	1,90	2,65	1,87	2,16	1,92
1,3380	2,98	2,58	2,36	3,30	2,30	2,70	2,40
1,3390	3,50	3,10	2,82	3,95	2,77	3,25	2,85
1,3400	4,10	3,60	3,30	4,60	3,20	3,78	3,30
1,3410	4,66	4,09	3,75	5,26	3,65	4,31	
1,3420	5,28	4,60	4,20	5,93	4,12	4,78	
1,3430	5,90	5,10	4,65	6,60	4,56	5,32	
1,3440	6,50	5,60	5,10	7,20	5,00		
1,3450	7,05	6,12	5,55	7,80			
1,3460	7,60	6,60	6,00	3,40			
1,3470	8,15	7,05	6,45	9,00			
1,3480	8,77	7,50	6,90	9,62			
1,3490	9,39	7,90	7,35	10,22			
1,3500	9,83	8,35	7,73				
1,3510	10,38	8,80	8,15				
1,3520	10,90	9,27	8,58				
1,3530	11,43	9,75	9,00				
1,3540	11,96	10,15	9,40				
1,3550	12,50	10,55	9,82				
1,3560	13,05						
1,3570	13,60						
1,3580	14,15						
1,3590	14,65						
1,3600	15,08						

გლიცერინის სხვადასხვა კონცენტრაციის წყლიან ხსნართა დამოკიდებულება გარდატეხის მაჩვენებელთან (პ ო უ ტ ი თ)

წონითი პროც.	$n_D^{20°}$	წონითი პროც.	$n_D^{20°}$	წონითი პროც.	$n_D^{20°}$	წონითი პროც.	$n_D^{20°}$
0	1,33303	26	1,36536	51	1,39958	76	1,43683
1	1,33416	27	1,36669	52	1,40107	77	1,43832
2	1,33530	28	1,36802	53	1,40256	78	1,43982
3	1,33645	29	1,36936	54	1,40405	79	1,44135
4	1,33672	30	1,37070	55	1,40554	80	1,44290
5	1,33880	31	1,37204	56	1,40703	81	1,44450
6	1,33999	32	1,37338	57	1,40852	82	1,44612
7	1,34118	33	1,37472	58	1,41001	83	1,44770
8	1,34238	34	1,37606	59	1,41150	84	1,44930
9	1,34359	35	1,37740	60	1 41299	85	1,45085
10	1,34481	36	1,37874	61	1,41448	86	1,45237
11	1,34604	37	1,38008	62	1,41597	87	1,45389
12	1,34729	38	1,38143	63	1,41746	88	1,45539
13	1,34834	39	1,38278	64	1,41895	89	1,45689
14	1,34980	40	1,38413	65	1,42044	90	1,45839
15	1,35106	41	1,38548	66	1,42293	91	1,45989
16	1,35233	42	1,38683	67	1,42342	92	1,46139
17	1,35361	43	1,38818	68	1,42491	93	1,46290
18	1,35490	44	1,38953	69	1,42640	94	1,46443
19	1.35619	45	1,39089	70	1,42789	95	1,46597
20	1,35749	46	1,39227	71	1.42938	96	1,46752
21	1,35879	47	1,39368	72	1,43087	97	1,46909
22	1,36010	48	1,39513	73	1,43236	98	1,47071
23	1,36141	49	1,39660	74	1,43385	99	1,47234
24	1,36272	50	1,39809	75	1,43534	100	1,47399
25	1,36404						

ცხრილი 18

გარდატეხის მაჩვენებელთა ფაქტორები (F) წონა-მოცულობითი კონცენტრაციის ხსნარებისათვის

პრეპარატები	ფაქტორები	პრეპარატები	ფაქტორები
ალბუციდი	0,00196	ნატრიუმპარაამინოსალიცილატი	0,00200
ანტიპირინი	0,00226	ნატრიუმსალიცილატი	0,00200
ასკორბინის მჟავა	0,00157	ნატრიუმციტრატი	0,00145
გლუკოზა	0,00142	ნატრიუმქლორიდი	0,00165
ეფედრინი	0,00200	ნატრიუმთიოსულფატი	0,00119
თიამინბრომიდი	0,00210	ნიკოტინის მჟავა	0,00201
კალიუმბრომიდი	0,00117	ნოვოკაინი	0,00220
კალციუმგლუკონატი	0,00151	პირამიდონი	0,00220
კალციუმქლორიდი	0,00117	პრომედოლი	0,00174
კოდეინფოსფატი	0,00180	სპაზმოლიტინი	0,00193
კოფეინ-ნატრიუმბენზოატი	0,00192	სფეროფიზინი ბენზ.	0,00209
მაგნიუმსულფატი	0,00095	ტიფენი	0,00214
ნატრიუმბენზოატი	0,00210	უროტროპინი	0,00170
ნატრიუმბრომიდი	0,00140	ფენატინი	0,00165
ნატრიუმჰიდროკარბონატი	0,00125	ქლორალჰიდრატი	0,00113
		შაქარი	0,00114

ცხრილი 19

წონითი კონცენტრაციის ხსნარებისათვის გარდატეხის მაჩვენებელთა ფაქტორები (F)

ფაქტორების ცხრილის №	კალციუმ-ქლორიდი	გლუკოზა	უროტროპინი	ნატრიუმ-ბრომიდი	კალიუმ-ბრომიდი	კალიუმ-იოდიდი	ნატრიუმ-ბიკარბონატი	ნატრიუმ-სალიცილატი
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00121	0,00142	0,00171	0,00143	0,00123	0,00131	0,00211	0,00200
2	121	142	171	143	123	132	211	201
3	122	143	172	144	123	133	212	202
4	122	143	172	145	124	134	213	203
5	122	144	173	146	124	135	213	204
6	123	145	173	146	125	136	214	205
7	123	145	174	147	125	137	214	206
8	123	146	174	148	126	138	215	206
9	123	146	175	148	126	139	216	207
10	124	147	175	149	127	140	216	208
11	124	148	176	150	127	141	217	209
12	124	148	176	150	128	142	217	210
13	124	148	177	151	129	143	218	210
14	125	149	177	152	129	144	219	211

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	0,00125	0,00150	0,00178	0,00153	0,00129	0,00145	0,00219	0,00212
16	125	150	178	153	130	146	220	213
17	125	151	179	154	130	147	221	214
18	126	151	179	155	131	148	221	214
19	126	152	180	155	131	149	222	215
20	126	152	180	156	131	150	222	216
21	126	153	181					
22	127	154	181					
23	127	154	182					
24	127	155	182					
25	128	155	183					
26	128	156	183					
27	128	156	184					
28	128	157	184					
29	129	158	185					
30	129	158	185					
31	129	159	186					
32	129	159	186					

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	0,00130	0,00160	0,00187					
34	130	160	187					
35	130	161	188					
36	130	161	188					
37	131	162	189					
38	131	163	199					
39	131	163	190					
40	131	164	191					
41	132							
42	132							
43	132							
44	132							
45	133							
46	133							
47	133							
48	134							
49	134							
50	134							

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ცხრილების გამარტივებისათვის პირველი სტრიქონის შემდეგ ციფრები 0,00 გამოტოვებულია, რადგან ის ყველასათვის საერთოა.

ცხრილი 20

წონითი კონცენტრაციის ხსნარებისათვის გარდატეხის მაჩვენებელთა ფაქტორები (F)

ტალღის სიგრძე	ანტიპირინი	ბენზომაქვავე სფეროფიზნი	ნატრიუმ-პარაამინო-სალიცილატი	ფენატონი	სპაზმოლ-ტინი	თიამინ-ბრომიდი	კალციუმ-გლუკონატი	ტფენი	პრომე-დოლი
1	0,00226	0,00208	0,00199	0,00164	0,00193	0,00210	0,00148	0,00214	0,00182
2	227	208	200	165	195	212	149	216	185
3	228	209	202	166	198	213	150	218	186
4	228	209	205	167	200	215	151	219	188
5	229	210	206	168	200	216	152	220	190
6	230	211	208	169	202	218	153		
7	230	212	209	170	203	220	154		
8	231	213	210	171	204	222	155		
9	231	214	211	172	205	224	156		
10	232	215	212	173	207	226	157		
11	232	216	213	175					
12	233	217	214	176					
13	233	218	215	177					
14	234	219	215	178					
15	235	220	216	179					
16	235	221							
17	236	222							
18	237	223							
19	238	223							
20	238	224							

შენიშვნა: ცხრილების გამარტივებისათვის პირველი სტრიქონის შემდეგ ციფრები 0,00 გამოტოვებულია, რადგან ის ყველასათვის საერთოა.

ფოტომეტრია ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ოპტიკური მეთოდია, რომელიც მრავალმხრივ გამოყენებას პოულობს ქიმიურ ნაერთთა თვისობრივი და რაოდენობრივი გამოკვლევების დროს.

აქ განიხილება რაოდენობრივი ანალიზის ისეთი ნახევრადმიკრო და მიკრომეთოდები, როგორიცაა: ვიზუალური კოლორიმეტრია, ფოტოკოლორიმეტრია და სპექტროფოტომეტრია. ეს მეთოდები ემყარება ხსნარში მყოფი ნივთიერების მიერ სინათლის შთანოქმას.

კოლორიმეტრიული და ფოტოკოლორიმეტრიული მეთოდით შეიძლება განისაზღვროს არა მარტო ბუნებრივად შეფერილი ნივთიერებანი, აგრეთვე უფერო ნივთიერებანი, რომლებიც რეაგენტების მოქმედებით შეფერილ ნაერთებს წარმოქმნიან; სპექტროფოტომეტრიულად სინათლის ულტრაიისფერ უბანში შესაძლებელია უშუალოდ უფერო ნივთიერებათა განსაზღვრა.

კოლორიმეტრია

კოლორიმეტრია ორი სიტყვისაგან შედგება: ლათინური კოლორ (ფერი) და ბერძნული მეტრია (გაზომვა), რაც მთლიანად ფერის ზომვას ნიშნავს.

კოლორიმეტრია ემყარება ლამბერტისა და ბერის ოპტიკის კანონებს.

ლამბერტის კანონის მიხედვით: 1) ერთნაირი სისქის მოცემულ არეებში სინათლის გავლისას შესული სხივების ინტენსივობა მცირდება თვით სინათლის ინტენსივობის სიდიდისაგან დამოუკიდებლად და 2) გამავალი სინათლის ინტენსივობა მცირდება გეომეტრიული პროგრესიით, როდესაც ფენის სისქე იზრდება არითმეტიკული პროგრესიით. ეს კანონი მათემატიკურად შემდეგი ტოლობით შეიძლება გამოისახოს: $J_t = J_0 \cdot 10^{-kh}$, (1) სადაც J_t გამავალი სინათლის ინტენსივობაა, J_0 — სინათლის საწყისი ინტენსივობა, h — ფენის სისქე, რომელსაც გაივლის სინათლის სხივი, და k — შთანთქმის კოეფიციენტი, რომელიც ფენის სისქის შებრუნებული სიდიდეა, როდესაც Jt ტოლია 1/10 J_0, სანტიმეტრებში გამოსახული; თუ

$$\frac{J_t}{J_0}=10^{-kh}, \quad \text{მაშინ} \quad kh=1 \quad \text{და} \quad k=\frac{1}{h}. \qquad (1)$$

ბერის კანონის თანახმად, რომელიც იკვლევდა შეფერილი ხსნარების მიერ სინათლის შთანთქმას, შთანთქმის კოეფიციენტი პროპორციულია შეფერილი ნივთიერების კონცენტრაციისა:

$$k=EC. \qquad (2)$$

სადაც ε კოეფიციენტია, რომელიც არ არის დამოკიდებული კონცენტრაციაზე. ლამბერტის ტოლობაში (1) k-ს შეცვლით ბერის კანონის შესაბამისი გამოსახულებით, მივიღებთ ლამბერტ-ბერის კანონის მათემატიკურ გამოსახულებას კოლორიმეტრისათვის:

$$J_t=J_0\cdot 10^{-\varepsilon Ch}.$$

თუ C კონცენტრაცია გამოსახულია მოლებით ლიტრში, მაშინ ε-ს უწოდებენ შთანთქმის მოლურ მაჩვენებელს, რომელიც დამოკიდებულია სინათლის ბუნებაზე, სინათლის ტალღის სიგრძეზე, გახსნილი ნივთიერების ბუნებაზე და ტემპერატურაზე.

თუ გვაქვს სხვადასხვა კონცენტრაციის (C_1 და C_2) ორი ნივთიერების შეფერილი ხსნარი, ერთნაირ პირობებში (დაცემული სინათლის ინტენსივობა, ტემპერატურა და სხვ.).

$$J_{t1}=J_0\cdot 10^{-\varepsilon C_1h_1},$$

$$\text{და } J_{t2}=J_0\cdot 10^{-\varepsilon C_2h_2},$$

ორივე ხსნარის ერთნაირი შეფერადების მიღწევისას (ოპტიკური სისტემის გაწონასწორებისას)

$$J_{t1}=J_{t2}=J_0\cdot 10^{-\varepsilon C_1h_1}=J_0\cdot 10^{-\varepsilon C_2h_2},$$

$$\text{ანუ } C_1\cdot h_1=C_2\cdot h_2,$$

ეს უკანასკნელი ტოლობა (3) წარმოადგენს ძირითადს კოლორიმეტრიისათვის. ასეთი განსაზღვრების დროს საჭიროა გვქონდეს ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარები (სტანდარტული ხსნარი C_1). კოლორიმეტრიული განსაზღვრის დროს ხდება უცნობი კონცენტრა-

ციის (C_2) ხსნარის ფერის შედარება იგივე ნივთიერების სტანდარტულ ხსნარებთან. უცნობი კონცენტრაციის განსაზღვრას აღწევენ მისი ფენის სისქის ცვლილებით (h_2) ხსნართა ერთნაირი შეფარდების მიღწევისას:

$$C_1=\frac{C_2h_2}{h_1} \quad \text{და} \quad C_2=\frac{C_1h_1}{h_2}.$$

ამ ტოლობაში სტანდარტის კონცენტრაცია C_1 ცნობილია, ხოლო ფენის სისქე h_1 და h_2 აითვლება კოლორიმეტრზე, ე. ი. გვრჩება ერთუცნობიანი ტოლობა, რომლითაც გამოითვლება გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია — C_2.

კოლორიმეტრიული ანალიზის დროს აუცილებელია, რომ გამოსაკვლევი ხსნარი ემორჩილებოდეს ბერის კანონს, ე. ი. ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით მისი შეფერვის ინტენსივობა ხაზობრივად იზრდებოდეს. სინამდვილეში ხშირად ხსნარები არ ემორჩილება ბერის კანონს, რაც გამოწვეულია პირველ რიგში დისოციაციით; დისოციაციის შედეგად, რომელსაც განიცდის ზოგიერთი შეფერილი ნივთიერებანი, ხსნარის შეფერვა იცვლება; ცნობილია აგრეთვე, რომ დისოციაციის ხარისხი დამოკიდებულია კონცენტრაციასთან და ხშირად კონცენტრაციის შემცირებით დისოციაციის ხარისხი იზრდება, ხოლო თუ მოლეკულა უფეროა, დისოციაციის შედეგად წარმოქმნილი იონები კი შეფერილი (მაგალითად, პიკრინმჟავა და სხვები) კონცენტრაციის შემცირებით ხსნარის შეფერადება გაიზრდება. გარდა ამისა, კონცენტრაციასა და შეფერადების ინტენსივობის დამოკიდებულებაზე გავლენას ახდენს კომპლექსნაერთთა წარმოქმნა და გარეშე ელექტროლიტები. რიგ მარილებს უნარი აქვთ წარმოქმნან კომპლექსნაერთები, რომლებიც ძირითადი ნივთიერებისაგან განსხვავებული ფერით ხასიათდებიან.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კოლორიმეტრიულ განსაზღვრამდე წინასწარ უნდა იქნეს შესწავლილი, თუ რამდენად ემორჩილება ბერის კანონს გამოსაკვლევი ხსნარი, და დადგინდეს დამოკიდებულება სინათლის გატარების ხარისხსა და კონცენტრაციას შორის.

გამოსაკვლევ ხსნარზე დაცემული და მასში გამავალი სინათლის ძალთა შეფარდება (T) მიგვითითებს გამჭვირვალობაზე, ანუ გატარების ხარისხზე:

$$T=\frac{J_t}{J_0}=10^{-\varepsilon Ch}$$

T — სიდიდეს, მოცემული ფენის სისქის 1 სმ-ში, ეწოდება გატარების კოეფიციენტი, ხოლო გატარების მოპირდაპირე (შთანთქმის, ანუ ჩაქრობის) სიდიდის ლოგარითმს — ექსტინქციას — E, ანუ ოპტიკურ სიმკვრივეს — D უწოდებენ:

$$E=D=\lg\frac{1}{T}=\lg\frac{J_0}{J_t}=\varepsilon Ch \qquad (4)$$

ამ ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ ექსტინქცია, ანუ ოპტიკური სიმკვრივე პირდაპირპროპორციულია ხსნარში შეფერილი ნივთიერების კონცენტრაციისა. როდესაც ხსნარი ემორჩილება ბერის კანონს, C/D დამოკიდებულების გრაფიკი სწორხაზოვანი იქნება, ხოლო როდესაც არ ემორჩილება ბერის კანონს, დამოკიდებულება არასწორხაზოვანია.

განსაზღვრას აწარმოებენ სპეციალურ ხელსაწყოებში, რომელთაც კოლორიმეტრებს უწოდებენ.

ვ ი ზ უ ა ლ უ რ კ ო ლ ო რ ი მ ე ტ რ ი ა ში ძირითადად სამ მეთოდს იყენებენ:

1) განზავების მეთოდს, 2) სტანდარტთა სერიების და კოლორიმეტრიული ტიტვრის მეთოდს და 3) გაწონასწორების მეთოდს.

განზავების მეთოდი, რომელიც ემყარება გამოსაკვლევი ხსნარის განზავებას სტანდარტის ფერის ინტენსივობამდე, ვერ იძლევა ზუსტ შედეგებს და იშვიათად გამოიყენება პრაქტიკაში.

სტანდარტთა სერიების მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს გამოსაკვლევი ხსნარის და სხვადასხვა კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარების შეფერვის ინტენსივობის შედარებაში, უფრო ზუსტ შედეგებს იძლევა. სიზუსტე საგრძნობლად იზრდება კოლორიმეტრიული ტიტვრის გამოყენებით, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ რეაქტივიან და წყლიან ჭიქაში მიკრობიურეტიდან უმატებენ სტანდარ-

ტულ ხსნარს, ვიდრე არ მიაღწევენ ფერების გათანაბრებას მეორე ჭიქასთან, რომელშიც გამოსაკვლევი ხსნარია მოთავსებული. როგორც ჩანს, ეს მეთოდი საკმაოდ რთულია, რის გამოც იშვიათად გამოიყენება.

გაწონასწორების მეთოდით კოლორიმეტრიული ანალიზისათვის საჭიროა აღინიშნოს:

1. შესადარი ხსნარების შეფერილობის თავისებურება არსებით როლს არ თამაშობს, რადგან განსაზღვრა ერთნაირად ტარდება სპექტრის ხილული არის ყველა უბანში, მაგრამ სპეციალისტები ამჯობინებენ ლურჯი ან იისფერი ხსნარების კოლორიმეტრირებას. ყვითელ და წითელ ხსნარებთან მუშაობის დროს ურჩევენ დაკვირვება აწარმოონ ღია ლურჯი მინიდან (ე. წ. შუქფილტრიდან).

2. არსებითი მნიშვნელობა აქვს შეფერადების ინტენსივობას. ხშირად შესაძლებელია მხოლოდ ისეთი ხსნარების კოლორიმეტრირება, რომელთა კონცენტრაციები დიდად არ განსხვავდებიან ურთიერთისაგან (არა უმეტეს 25%); ყოველ შემთხვევაში მოცემული ნივთიერების კოლორიმეტრიული ანალიზის დროს საჭიროა ვიცოდეთ კონცენტრაციის დასაშვები საზღვრები.

3. განსაზღვრის სიზუსტე ბევრადაა დამოკიდებული სინათლის ინტენსივობაზე, რადგან დღის სინათლით განათებას ცვალებადობა ახასიათებს, კოლორიმეტრირებისათვის უკეთესია ჩაბნელებულ ოთახში მქრქალი ელნათურით განათება. ამასთანავე, სინათლის წყაროს მდებარეობა და განათების ინტენსივობა აპარატის მიმართ კოლორიმეტრიული განსაზღვრების დროს არ უნდა იცვლებოდეს.

4. სინათლის ნაკადის არასაკმაო მონოქრომატულობა წარმოადგენს კოლორიმეტრიის ძირითადი კანონებიდან გადახვევის ყველაზე გავრცელებულ მიზეზს. ეს ნაკლი თავიდან არის აცილებული სამამულო მრეწველობის მიერ გამოშვებულ КОЛ—1 М ტიპის კოლორიმეტრებში სინათლის ფილტრების გამოყენებით. ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ სინათლის ფილტრები იწვევს ხედვის სიმკვეთრის შესუსტებას და, გამომდინარე აქედან, ამცირებს სიზუსტეს, ხოლო სინათლის ფილტრების გამოყენება (მონოქრომატული სინათლე) პრინციპში ხელს უწყობს ფოტომეტრიული გაზომვების (როგორც ვიზუალური, ასევე ფოტოელექტრული) სიზუსტის გაზრდას.

5. ვიზუალური კოლორიმეტრიის შედარებით მცირე სიზუსტის

ძირითად მიზეზს სუბიექტური ფიზიოლოგიური ფაქტორი წარმოადგენს: დამკვირვებლის მხედველობის თავისებურება, მისი გამოცდილება, თვალის დაღლილობა და სხვ. ნორმალური მხედველობის მქონე დამკვირვებელი ადვილად ჩაატარებს ანალიზის სერიებს, თუ დაკვირვებათა შორის თვალს დაასვენებს 1—2 წუთით. დაკვირვება თითოეულ ცდაზე მეორდება 5-ჯერ და ანათვლები იწერება, რის შემდგ გამოითვლიან საშუალო არითმეტიკულს. კოლორიმეტრის ოპტიკური სისტემის სისწორის შემოწმების მიზნით, რეკომენდებულია განმეორებულ იქნეს გაზომვები სტანდარტული და გამოსაკვლევი ხსნარიანი ჭიქების ადგილების შეცვლის შემდეგ. უმჯობესია ერთი ჭიქა დავაყენოთ გარკვეულ სიმაღლეზე (20 მმ), ხოლო მეორე ჭიქა გადავაადგილოთ თანაბარი მოძრაობით, ვიდრე არ იქნება მიღწეული შეფერვის მოჩვენებითი გათანაბრება. ამის შემდეგ თვალს ასვენებენ ერთი წუთით და სწრაფი დაკვირვებით ოკულარში ადგენენ შეფერვის ტოლობას თუ უტოლობას. საჭიროების შემთხვევაში ჭიქას გადაადგილებენ მანამ, სანამ არ მიაღწევენ შეფერვის მოჩვენებით გატოლებას.

6. დიდი მნიშვნელობა აქვს შეფერილობის სტაბილურობას. შეფერილობის სწრაფი ცვლილება ხშირად წარმოადგენს ანალიზის ჩატარების მთავარ სიძნელეს. სასურველია, რომ შეფერვა ვითარდებოდეს სწრაფად და ოთახის ტემპერატურაზე.

7. სასურველია, რომ რეაქტივის სიჭარბემ არ მოახდინოს გავლენა შეფერილობის ინტენსივობაზე და რომ გამოსაკვლევი ნივთიერება და რეაქტივი გახსნილ იქნეს ერთ გამხსნელში.

8. ხსნარები, რომელთა კოლორიმეტრირებასაც ვახდენთ, არ უნდა იყოს მღვრიე, არ არის სასურველი მათი გაფილტვრა, მაგრამ, თუ ეს აუცილებელია (გამოსაკვლევი ხსნარის სიმღვრივის გამო), მასთან ერთად უნდა გაიფილტროს სტანდარტული ხსნარიც.

9. სინათლის გზაზე შემხვედრი ყველა ზედაპირი (ამრეკლი სარკე, ჭიქები და სხვ.) უნდა იყოს სრულიად სუფთა.

ვიზუალური კოლორიმეტრიული მეთოდის ცდომილება შეადგენს 2—5%. კარგ პირობებში ეს ცდომილება შეიძლება 1%-მდე იქნეს დაყვანილი. ამასთანავე ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ კოლორიმეტრიული ანალიზის პრაქტიკაში იშვიათი არ არის განსხვავება 10%-ით და მეტითაც.

კოლორიმეტრიული მეთოდის არასაკმარისი სიზუსტე მის პრინციპულ საფუძვლებთან კი არ არის დაკავშირებული, არამედ დამოკიდებულია ამა თუ იმ ნივთიერების განსაზღვრის მეთოდის არასაკმარის დამუშავებაზე.

ფოტომეტრიული და სპექტროფოტომეტრიული მეთოდების სულ უფრო მეტად გავრცელების მიუხედავად, ვიზუალური კოლორიმეტრია კვლავ ფართოდ გამოიყენება წამალთა ანალიზის პრაქტიკაში. ეს აიხსნება ვიზუალური კოლორიმეტრიის მეთოდის სიმარტივითა და საკმაო სიზუსტით. ზოგჯერ ვიზუალურ კოლორიმეტრიას ანიჭებენ უპირატესობას, რამდენადაც ის საჭიროებს ნაკლებ დროს, ვიდრე სპექტროფოტომეტრიული განსაზღვრა, რომლისთვისაც საჭიროა სტანდარტული მრუდის წინასწარ აგება.

ჩვენში ყველაზე მეტად გამოიყენება დიუბოსკას სისტემის კოლორიმეტრები, რომლებსაც სამაიულო მრეწველობაში ამზადებს. ამ სისტემის კოლორიმეტრებში ახდენენ ორი შეფერადებული ხსნარის შედარებას, რომლებსაც ასხამენ სპეციალურ ცილინდრულ ჭიქაში (კიუვეტებში), და რომლებიც იდგმება მოძრავ კრემალერებზე. ცილინდრებში ჩაშვებულია ვერტიკალური პრიზმები, რომელთაც ბრტყელი ბოლო აქვთ. ერთ კიუვეტში ასხამენ სტანდარტულ ხსნარს, რომლის კონცენტრაცია ცნობილია (C_1) და აყენებენ განსაზღვრულ სიმაღლეზე (კრემალერის საშუალებით შკალაზე), ისე, რომ ხსნარის გარკვეული სისქის ფენაში (h_1) გადიოდეს სინათლე. მეორე კიუვეტს, რომელშიც გამოსაკვლევი ხსნარი ისხმება, დგამენ პარალელურად და ახდენენ გადაადგილებას ზემოთ და ქვემოთ ოკულარში ფერების გათანაბრებამდე. ოკულარი წარმოადგენს წრიულ შკალას, რომლის მარჯვენა ნახევარი მარცხენა კიუვეტის ხსნარის სურათს გვიჩვენებს, ხოლო მარცხენა-მარჯვენისას. გამოსაკვლევ ხსნარში ჩაშვებული პრიზმის ან თვით კიუვეტის გადაადგილებით აღწევენ ოკულარში ორივე ნახევრის ფერების გათანაბარებას, წონასწორობის მომენტში აითვლიან გამოსაკვლევი ხსნარის ფენის სისქეს (h_2), რის შემდეგ ანგარიშობენ ხსნარის კონცენტრაციას ტოლობით:

$$C_2 = \frac{C_1 h_1}{h_2}.$$

უკანასკნელ წლებში ფართო გავრცელება პოვა ფოტომეტრიის ობიექტურმა მეთოდებმა — ფოტოკოლორიმეტრიამ და სპექტროფოტომეტრიამ. ჯერ ჩვენ განვიხილავთ ფოტოკოლორიმეტრიას (ფოტოელექტროკოლორიმეტრიას).

ფოტოელექტრული კოლორიმეტრიის თეორიის საფუძვლები გამომდინარეობს ფოტოელექტრული ეფექტიდან.

ცნობილია, რომ ფოტოელემენტში, მასზე სინათლის სხივების დაცემისას, წარმოიქმნება დენი, რომელიც შეიძლება რეგისტრირებულ იქნეს გალვანომეტრით. ფოტოეფექტის ინტენსივობა პირდაპირპროპორციულია განათების ინტენსივობისა:

$\frac{L_1}{L_2}=\frac{J_1}{J_2}$, სადაც L — სინათლის ნაკადის ინტენსივობაა, J — — ფოტოდენის ძალის ინტენსივობა. ამასთანავე, ლამბერტ-ბერის კანონიდან გამომდინარე, ექსტინქცია — E — პირდაპირპროპორციულია ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციისა:

$$E=D=\lg\frac{1}{T}=\lg\frac{J_0}{J_t}=\varepsilon Ch$$

ან, როგორც ამ განტოლებიდან გამომდინარეობს:

$$\lg J_0-\lg J_t=\varepsilon Ch,$$

სინათლის ინტენსივობის შესაბამისი პირდაპირპროპორციული ფოტოდენის არსებობისას ვღებულობთ ფოტოკოლორიმეტრიის ძირითად ტოლობას:

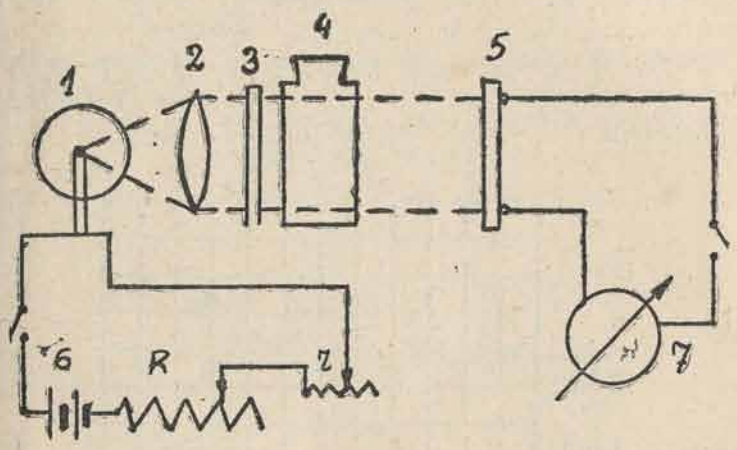
$$\lg i_0-\lg i=\varepsilon Ch.$$

ან სინათლის შთანმთქმელი უცვლელი სისქის ფენისათვის:

$$\lg i_0-\lg i=\varepsilon C.$$

ფოტოდენის სხვაობის ლოგარითმი შთანთქმამდე და მის შემდეგ პირდაპირპროპორციულია შთანმთქმელი ნივთიერების კონცენტრაციისა. პრაქტიკულად J_0 შესაბამება არა დაცემული სინათლის ინ-

ტენსივობას, არამედ სინათლის ინტენსივობას, რომელიც გადის საკონტროლო ხსნარში.

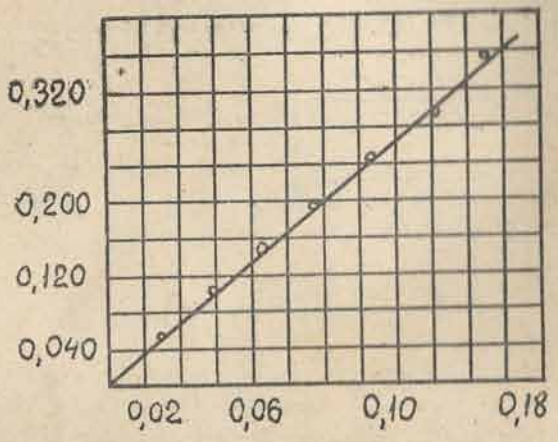


ნახ. 5. დავიდოვის ფოტოკოლორიმეტრის სქემა

ნათურიდან (1) გამოსული სინათლე იკრიბება ლინზაში (კონდენსატორი) (2), გაივლის შუქფილტრს (3), კიუვეტას (4) და ეცემა ფოტოელემენტზე (5), რომელიც გალვანომეტრთან (1) არის შეერთებული. ნათურის ვარვარების ინტენსივობის უცვლელობისათვის წრედში ჩართულია მცოცავი რეოსტატები R და Z. სინათლის წყაროდ გამოყენებულია ავტომობილის ნათურა, რომელსაც დენს აწვდის აკუმულატორთა ბატარეა (6). ფოტოდენის, გაზომვისათვის ყველაზე მოხახერხებელია გალვანომეტრი შკალის 100 დანაყოფითა და 350—850 ომი შინაგანი წინააღმდეგობით (მგრძნობიარობა 10^{-7} A).

გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრის დროს ფოტოკოლორიმეტრიული მეთოდით სარგებლობენ საკალიბრო გრაფიკით, რომელსაც აგებენ i/c ან D/c მონაცემების სააფუძველზე. ამისათვის აშზადებენ სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნართა სერიას, ათავსებენ მათ თანმიმდევრობით ფოტოკოლორიმეტრის კიუვეტში,

შეურჩევენ შესაფერის შუქფილტრს და აღნიშნავენ გალვანომეტრის ჩვენებას თითოეული გაზომვისას. ამ მონაცემებით აგებენ გრაფიკს. ამ გრაფიკის მოხერხებულობა იმაში მდგომარეობს, რომ გალვანომეტრის ჩვენებანი უშუალოდ მიგვითითებს გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაციაზე, ნაკლი კი ის არის, რომ ზოგჯერ შედარებით კონცენტრაციის დიდ ფარგლებში გრაფიკზე ფოტოდენსა და ნივთიერების კონცენტრაციას შორის არ არის სწორხაზოვანი დამოკიდებულება, რაც ცთომილებას იწვევს.

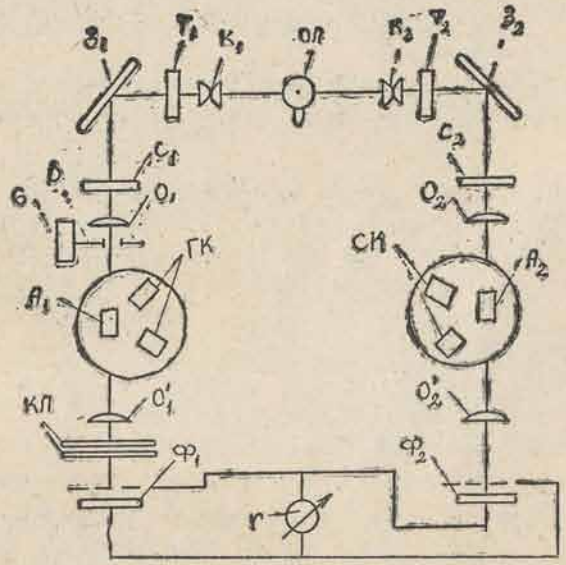


ნახ. 6. მორეინის კოლორიმეტრიული განსაზღვრის გრაფიკი ვაისბერგით და სხვ.

დიდი სიზუსტის მისაღწევად ამჟამად კონსტრუირებულია ფოტოელექტროკოლორიმეტრები, რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია დიდი სიზუსტით განისაზღვროს გრამის არა მარტო მეათასედი, აგრეთვე გრამის მეათიათასედი და ნივთიერების უფრო მცირე რაოდენობაც. წინასწარ აგებენ საკალიბრო გრაფიკს F/C ან D/C, ამასთან ექსტინქცია, ანუ ოპტიკური სიმკვრივე განისაზღვრება i_0 და i ლოგარითმთა სხვაობიდან.

წინასწარ ამზადებენ საკონტროლო ხსნარს (ფონი), რომელიც შეიცავს გამოსაკვლევ ხსნარისადმი ყველა დამატებულ რეაქტივს, გარდა განსასაზღვრი ნივთიერებისა, ასხამენ კიუვეტში და დგამენ ფოტოკოლორიმეტრში.

ზემოაღწერილი ფოტოკოლორიმეტრიისაგან განსხვავებით, დიფრაქციულ ფოტოკოლორიმეტრებს აქვს ორი ფოტოელემენტი, შესაბამისი წყვილი სინათლის წყაროთი. მუშაობის დაწყებამდე საჭიროა სინათლის წყაროს რეგულირება (აპარატის ინსტრუქციის შესაბამისად) ფოტომეტრიული წონასწორობის მისაღწევად.



ნახ. 7. ფოტოელექტროკოლორიმეტრის სქემა

ასეთი ფოტოკოლორიმეტრებით შესაძლებელია ერთდროულად როგორც გამოსაკვლევი, ასევე სტანდარტული ხსნარის ფოტომეტრირება.

სამამულო წარმოების ფოტოკოლორიმეტრებიდან სამკურნალო საშუალებათა გამოკვლევისათვის ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ფოტოკოლორიმეტრი — ФЭК — М; ამ ხელსაწყოს პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 7-ზე.

სინათლის ნაკადი ОЛ ლამპიდან აირეკლება $З_1$ და $З_2$ სარკეზე, გაივლის $С_1$ და $С_2$ შუქფილტრებს, $А_1$ და $Р_2$ კიუვეტებს და ეცემა $Ф_1$ და $Ф_2$ ფოტოელემენტებს, რომელიც დიფერენციალური სქემით შეერთებულია გალვანომეტრთან. ამგვარად, ფოტოელემენტებზე თანაბარი ინტენსივობის სინათლის ნაკადთა დაცემის პირობებში გალვანომეტრის ისარი ნულზე დგება. ხვრეტის დიაფრაგმა Д მასთან დაკავშირებული დოლის Б ბრუნვით იცვლის სიფართოვეს და აქედან გამომდინარე ცვლის ფოტოელემენტზე $Ф_2$ დაცემულ სინათლის ნაკადის ინტენსივობას.

ფოტომეტრიულად ნეიტრალური სოლი КЛ გამოიყენება სინათლის ნაკადის შესასუსტებლად, რომელიც ფოტოელემენტს $Ф_1$ ეცემა.

მარჯვენა სინათლის კონაში დგამენ კიუვეტს გამოსაკვლევი ხსნარით, ხოლო მარცხენაში — კიუვეტს გამხსნელით. ხვრეტის დიაფრაგმა ამ დროს მთლიანად ღიაა. გამოსაკვლევი ხსნარის მიერ სინათლის შთანთქმის გამო ფოტოელემენტი $Ф_2$-ზე მოხვდება შედარებით მცირე ინტენსივობის სინათლის სხივი, ვიდრე $Ф_1$ ფოტოელემენტზე, რის გამოც გალვანომეტრის ისარი გადაიხრება ნულიდან. ორთავე სინათლის ნაკადთა ინტენსივობის გასათანაბრებლად მარცხენა ნაკადში შეჰყავთ ფოტომეტრიული სოლი КЛ, შემდეგ სინათლის პირველ კონაში გამოსაკვლევი ხსნარის ნაცვლად იდგმება კიუვეტი გამხსნელით. ამ დროს ფოტომეტრიული წონასწორობა კვლავ ირღვევა, რადგან იზრდება მარჯვენა $Ф_2$ ფოტოელემენტზე დაცემული სინათლის კონის ინტენსივობა. სინათლის ნაკადის ინტენსივობის შემცირებას აღწევენ ხვრეტის დიაფრაგმის შემცირებით. შესუსტების სიდიდე აითვლება ხვრეტის დიაფრაგმასთან დაკავშირებულ შკალაზე, სადაც შეიძლება ავითვალოთ შუქგამტარობა ან ოპტიკური სიმკვრივე.

ხელსაწყო კომპაქტურია და მოხერხებული. იგი საუკეთესო მოდელად ითვლება სამამულო ფოტოელექტრულ კოლორიმეტრებს შორის.

დაკვირვება გალვანომეტრის ისარზე წარმოებს სარკმლიდან ლუპით; სინათლის ფილტრების შეცვლა ხორციელდება სახელურის ბრუნვით. სახელურების ბრუნვით მარცხენა სინათლის კონაში შეიყვანება ფოტომეტრიული სოლები. ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისას წინასწარ მოცემული ნივთიერებისათვის აგებენ საკალიბრო გრაფიკს (საკალიბრო მრუდს).

ამისათვის ამზადებენ მოცემული ნივთიერების ზუსტი კონცენტრაციის ხსნართა რიგს, რომელიც მოიცავს გამოსაკვლევ ხსნარში ნაერთის განსასაზღვრად შესაძლებელ კონცენტრაციათა ფარგლებს. განსაზღვრას იწყებენ დიდი კონცენტრაციის ხსნარებიდან (იხ. ხელსაწყოს ინსტრუქცია). ხსნარს ასხამენ სათანადო ზომის კიუვეტაში და ზომავენ მის ოპტიკურ სიმკვრივეს მარცხენა დოლის მოძრაობით.

თუ ოპტიკური სიმკვრივის ანათვალის მნიშვნელობა 0,7—1,0 ფარგლებშია, შეიძლება განვაგრძოთ სხვა კონცენტრაციის ხსნართა ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა. ხოლო იმ შემთხვევაში, როდესაც ეს ირღვევა, საჭიროა შეირჩეს სხვა ზომის კიუვეტი. როდესაც ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდე ერთზე მეტია, აღებულ უნდა იქნეს უფრო მცირე ფენის სისქის კიუვეტი. თუ ოპტიკური სიმკვრივე 0.7—0,4 ფარგლებზე მცირეა, იღებენ უფრო დიდი ფენის მქონე კიუვეტს. სათანადო კიუვეტის შერჩევის შემდეგ ატარებენ სხვა ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეთა განსაზღვრას. ამის შემდეგ აგებენ საკალიბრო გრაფიკს, რისთვისაც ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაზომავენ კონცენტრაციებს, ხოლო ვერტიკალურზე — შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდეს.

გვაქვს რა საკალიბრო გრაფიკი, შესაძლებელია განვსაზღვროთ ხსნარში ნივთიერების უცნობი კონცენტრაცია. ამისათვის საზღვრავენ გამოსაკვლევი ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს ზუსტად ისევე, როგორც აგებულ იქნა საკალიბრო გრაფიკი. შემდეგ საკალიბრო გრაფიკზე აითვლიან განსაზღვრული ოპტიკური სიმკვრივის შესაბამის კონცენტრაციას.

ფოტოკოლორიმეტრიის პრინციპებისა და ტექნიკის შესახებ უფრო ფართოდ იხილეთ ვ. ს. ასათიანი (1957 და 1962 წწ.). საგუ-

ლე გლუკოზიდების ფოტომეტრიული განსაზღვრის შესახებ იხილეთ ფ. ა. ზილბერგი (1947), ბ. სმოლენსკი და ტ. კოგანი (1955). ვ. გ. ბელიკოვი (1985).

სპექტროფოტომეტრია

სპექტროფოტომეტრია ნივთიერებათა ქიმიური ანალიზის ოპტიკური მეთოდია, რომელიც დამოკიდებულებას ამყარებს ნივთიერების მიერ სპექტრის შთანთქმასა და სინათლის ტალღის სიგრძეს შორის. ბუგერ-ბერის კანონის თანახმად, ოპტიკური სიმკვრივე გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის პროპორციულია; გარკვეული ტალღის სიგრძის მონოქრომატული სინათლის შთანთქმის გაზომვის საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს გამოსაკვლევი ნივთიერების შემცველობა ხსნარში.

სპექტროფოტომეტრია წარმოადგენს სპექტრული ანალიზის ნაწილს, ამ უკანასკნელში კი გარდა სპექტროფოტომეტრიისა განიხილება ემისიური სპექტროსკოპია, ინფრაწითელი სპექტროგრაფია.

სპექტროფოტომეტრიული მეთოდებით მუშაობისთვის გამოყენებულია 1972 წ. საერთაშორისო შეთანხმებით დაკანონებული შემდეგი აღნიშვნები და ტერმინოლოგია.

სპექტროფოტომეტრია — სპექტრების გაზომვასთან დაკავშირებული ფიზიკის განხრა;

ტალღის სიგრძე — მანძილი ერთ ფაზაში მოთავსებულ ორ მოსაზღვრე ტალღებზე მდებარე წერტილებს შორის. საზომი ერთეული — ა — ანგსტრემი, მკმ — მიკრომეტრი და ნმ — ნანომეტრი. ანგსტრემი — A — იზოტოპის ტალღის სიგრძის 1/6056, 12525-ის ტოლია. პრაქტიკული მიზნებისათვის ეს ციფრი მიღებულია 10^{-8} სმ ტოლად.

ტალღური რიცხვი — ტალღათა რიცხვი, რომელიც მოდის ერთეული ტალღის სიგრძეზე. ტალღური რიცხვის ერთეულად მიღებულია უკუ სანტიმეტრი ($სმ^{-1}$), რომელიც წარმოადგენს ტალღის სიგრძის სიდიდის შებრუნებულ სიდიდეს, როცა ეს უკანასკნელი ისაზღვრება ვაკუუმში, სანტიმეტრებში.

სიხშირე — რხევათა რიცხვი დროის ერთეულში. საზომი ერთეული ჰერცი — ჰც, სიდიდე — 1/c.

სპექტრის ულტრაიისფერი უბანი — ელექტრომაგნიტური სპექტრის უბანი 10-დან 380 ნმ-მდე (თუ არ არის რაიმე დამატებითი ინფორმაცია, ეს ტერმინი მიეკუთვნება უბანს 200-დან 380 ნმ-მდე).

სპექტრის ხილული უბანი — ელექტრომაგნიტური სპექტრის უბანი, რომელსაც ხედავს ადამიანის თვალი (დაახლოებით 381—780 ნმ).

სპექტრის ინფრაწითელი უბანი — ელექტრომაგნიტური სპექტრის უბანი დაახლოებით 0,78-დან 300 მკმ-მდე.

სპექტროგრაფი — ხელსაწყო, შემავალი ნაპრალით და მადისპერგირებელი მოწყობილობით, რომლის საშუალებითაც ხდება სპექტრის ფოტოგრაფირება. (ოპტიკურ სისტემაში გამავალი გამოსხივება გროვდება დროის განმავლობაში და რაოდენობრივად რეგისტრირდება როგორც სხივური ენერგიის ფუნქცია).

ოპტიკური სპექტრომეტრი — ხელსაწყო შემავალი ნაპრალით, მადისპერგირებელი მოწყობილობით და ერთი ან რამოდენიმე გამომავალი ნაპრალით, რომლის საშუალებითაც იზომება ინტენსივობა განსაზღვრულ ტალღის სიგრძეზე ან გამომავალი ნაპრალის წინ სკანირებისას (გატარება). რეგისტრირებული სიდიდე გამოსხივების ინტენსივობის ფუნქციაა.

სპექტროფოტომეტრი — ესაა სპექტრომეტრი, დაკავშირებული ისეთ მოწყობილობასთან, რომელიც საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნეს ფუნქცია (დამოკიდებულება ტალღის სიგრძისა ინტენსივობის ორ ნაკადთან. ეს ორი ნაკადი შეიძლება დაყოფილ იქნეს დროის, სივრცის ან ორივეს მიხედვით).

გამტარებლობა — T საკვლევ ობიექტში (ნიმუშში) გასული გამოსხივების ინტენსივობის (I) დამოკიდებულება დაცემული გამოსხივების ინტენსივობასთან (I_0). ე. ი. $T = I/I_0$.

ოპტიკური სიკვრივე — (ან გამჭვირვალობა) — გამტარებლობის უარყოფითი ათობითი ლოგარითმია $D = \lg (1/T)$.

სპექტრალურ ანალიზს საფუძველი ჩაუყარა კირხგოფისა და ბუნზენის (1859) გამოკვლევებმა. მათ დაადგინეს, რომ ნივთიერების ატომებს, მოლეკულებსა და მათი სპექტრის ხასიათს შორის მჭიდრო კავშირია. კირხგოფმა და ბუნზენმა ჩამოაყალიბეს კანონი რომლის შინაარსი იმაში მდგომარეობს, რომ ერთი და იგივე სიგრძის ტალღის სხივებისათვის ერთნაირ ტემპერატურაზე გამოსხივე-

ბისა და შთანთქმის უნარი ნივთიერებისათვის ერთნაირია, ე. ი. გაზები და ორთქლი შთანთქავენ სწორედ იმ ტალღის სხივებს, რასაც თვითონ გამოასხივებენ (გავარვარებულ პირობებში); ამდენად სპექტრი დამახასიათებელია ნივთიერებისათვის. სპექტრის ხაზები აღმოჩნდა სპეციფიკური და დამახასიათებელი ელემენტებისათვის, მსგავსად ატომ-წონისა. ამ აღმოჩენამ დასაბამი მისცა სპექტრული ანალიზის განვითარებას.

სპექტრული ეწოდება ანალიზის ფიზიკურ მეთოდს, რომელიც გამოიყენება ნივთიერებათა ქიმიური შედგენილობის და სტრუქტურის შესასწავლად, მისი ოპტიკური სპექტრით. ნივთიერების ოპტიკური სპექტრის ხასიათის მიხედვით არჩევენ გამოსხივების, შთანთქმის, ანუ ადსორბციის, და სინათლის გაფანტვის სპექტრს.

სპექტროფოტომეტრია წარმოადგენს სპექტრული ანალიზის მეთოდს შთანთქმის, ანუ ადსორბციის სპექტრით.

სპექტროფოტომეტრიული გამოკვლევების დროს განისაზღვრება გახსნილი ნივთიერების მიერ გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივის შთანთქმული რაოდენობა. შთანთქმის სიდიდე არ არის დამოკიდებული ხსნარში შესული სინათლის ინტენსივობაზე. ხსნარში შესული სხივების ინტენსივობის (J_0) დამოკიდებულება გასულთან (Jt) ერთნაირ პირობებში (ხსნარის ტოლი ფენის სისქე h და ხსნარის კონცენტრაცია C) დამოკიდებულია მხოლოდ გახსნილი ნივთიერების ბუნებაზე და სინათლის ტალღის სიგრძეზე.

სპექტროფოტომეტრიაში გამოყენებულია მონოქრომატული სხივები სწორედ იმის გამო, რომ ნივთიერების მოლეკულას თვისება აქვს შთანთქას მხოლოდ გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივები. ამგვარად, სპექტროფოტომეტრიულად შეიძლება განისაზღვროს ნივთიერების არა მარტო რაოდენობა, აგრეთვე იდენტურობა და სიწმინდის ხარისხი. ამასთანავე აღსანიშნავია ამ მეთოდის დიდი მგრძნობიარობა, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს პრეპარატის ძლიერ მცირე რაოდენობა — ერთეული მიკროგრამის რიგისა.

მონოქრომატული სინათლის მისაღებად სპექტროფოტომეტრში წყაროდან მიღებული სხივები (წყალბადის ან ვარვარა ნათურა) იკრიბება მონოქრომატორის ხვრელში, რომლის სპეციალური ლინზა შლის მას და მონოქრომატული სხივების სახით უშვებს გასასვლელი ხვრელისაკენ, შემდგომ ეს სხივი მიემართება ფოტოელემენტისაკენ, რომელიც ზომავს სინათლის ინტენსივობას (ენერგია). მონოქრომატორსა და ფოტოელემენტს შორის გზაზე იდგმება გამოსაკვლევი ხსნარი, რომელიც შთანთქავს სინათლის ნაწილს, რის შედეგად სხივის ენერგია სუსტდება. სინათლის სხივის ინტენსივობის ცვლილების გაზომვა შესაძლებლობას გვაძლევს რაოდენობრივად განვსაზღვროთ გამოსაკვლევი ნივთიერება.

სინათლის პარალელური მონოქრომატული სხივის ენერგიის შესუსტებას მისი მშთანთქმელი ნივთიერების ხსნარში გავრცელების დროს განსაზღვრავს ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონი, რომლის თანახმად სინათლის მშთანთქმელი ნივთიერების შემცველ სითხეში გამავალი მონოქრომატული სხივის შთანთქმა დამოკიდებულია გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციაზე და ხსნარის ფენის სიდიდეზე.

ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონი მათემატიკურად შემდეგნაირად გამოისახება:

$$J = J_0 \cdot 1^{-kch}, \qquad (5)$$

სადაც J_0 — სინათლის მონოქრომატული სხივის ინტენსივობაა;

I — ნატურალური ლოგარითმის ფუძე;

h — გამოსაკვლევი ხსნარის ფენის სისქე;

— სინათლის სხივის ინტენსივობა ხსნარიდან გამოსვლის შემდეგ;

C — სინათლის შთანმთქმელი ნივთიერების კონცენტრაცია ხსნარში;

K — შთანთქმის კოეფიციენტი ერთეულ კონცენტრაციაზე.

კოეფიციენტის (K) სიდიდე დამოკიდებულია სინათლის შთანმთქმელი ნივთიერების ქიმიურ ბუნებაზე და ფიზიკურ მდგომარეობაზე.

ვავილოვმა (1920) დაადგინა, რომ სინათლის შთანთქმის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული ხსნარში გამავალი სინათლის ინტენსივობაზე, სინათლის ენერგიის ცვლილების ფართო ინტერვალში. ვავილოვმა აგრეთვე დაადგინა, რომ სიდიდე — KC — დამოკიდებულია ხსნარის ფენის სისქეზე (h). K-სიდიდე დამოკიდებულია ხსნარის კონცენტრაციაზე. ხსნარის კონცენტრაციის ხასია-

თის მიხედვით არჩევენ შთანთქმის ხვედრით მაჩვენებელს და შთანთქმის მოლურ მაჩვენებელს ფორმულით:

$$E_{1\,\text{სმ}}^{1\,\%} = \frac{D}{C \cdot d} \qquad (6)$$

გამოისახება შთანთქმის მაჩვენებელთა სიდიდე,
სადაც: D — ოპტიკური სიმკვრივეა;
d — ხსნარის ფენის სისქე სმ-ში;
C — ხსნარის კონცენტრაცია;

$E_{1\,\text{სმ}}^{1\%}$ — შთანთქმის მაჩვენებელი, რომელიც კონსტანტას წარმოადგენს უცვლელი კონცენტრაციისა და მოცემული ტალღის სიგრძის სხივისათვის.

ამასთანავე, როდესაც კონცენტრაცია C გამოსახულია მოლებში ლიტრზე, მაშინ სიდიდეს $E_{1\,\text{სმ}}^{1\%}$ უწოდებენ შთანთქმის მოლურ მაჩვენებელს და უმთავრესად აღნიშნავენ ε სიმბოლოთი, თუ კონცენტრაცია გამოსახულია მოცულობით პროცენტებში (გრ/100 მლ-ში), მაშინ კონსტანტას უწოდებენ შთანთქმის ხვედრით მაჩვენებელს — $E_{1\,\text{სმ}}^{1\%}$.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ოპტიკური სიმკვრივე გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$D = \lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon Ch.$$

ეს ტოლობა მიიღება ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონის გამომსახველი ფორმულიდან:

$$J = J_0 \cdot 10^{-Eh},$$

აქედან

$$\frac{J}{J_0} = 10^{-Eh}$$

გალოგარითმებით,

$$\lg \frac{J}{J_0} = Eh$$

სადაც E არის სინათლის შთანთქმა 1 სმ სისქის ფენის მქონე ნივთიერების მიერ და ტოლია εC, ე. ი. E=εC, სადაც C — ხსნარის კონცენტრაციაა და ε — ექსტინქციის კოეფიციენტი, დამახასიათებელი მოცემული ნივთიერებისათვის.

თუ E-ს მნიშვნელობას შევიტანთ ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონის გამომსახველ ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon Ch = D.$$

შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის გამოსაანგარიშებელი ტოლობიდან (ტოლობა 6) ჩანს რომ ხსნარის კონცენტრაციასა და ოპტიკურ სიმკვრივეს შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულებაა. გამომდინარე აქედან, ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრით შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ხსნარის კონცენტრაცია შემდეგი ტოლობით:

$$C = \frac{D}{E_{1\,\text{სმ}}^{1\%} \cdot d} \qquad (7)$$

ასეთი განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის სიდიდე მოცემული ნივთიერებისათვის ან ექსპერიმენტულად დავადგინოთ ეს სიდიდე ტოლობის (6) გამოყენებით.

სამკურნალო პრეპარატებისათვის შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის სიდიდე და რაოდენობრივი განსაზღვრის სპექტროფოტომეტრიული მეთოდი მოცემულია სახელმწიფო ფარმაკოპეაში ან ფარმაკოპეის კომიტეტის მიერ გამოშვებულ დროებით ტექნიკური პირობებში. თუ ლიტერატურაში არ არის მოყვანილი შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის სიდიდე და ის კონცენტრაციის ფარგლები, რომლის ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდესა და ხსნარის კონცენტრაციას შორის დამოკიდებულება შეესაბამება ბერის კანონს (ე. ი. დამოკიდებულება გრაფიკზე სწორხაზოვანია), საჭიროა ზუსტი კონცენტრაციის ხსნარების მომზადება და ექსპერიმენტთა საფუძველზე საკალიბრო გრაფიკის აგება განსაზღვრისათვის კონცენტრაციის ფარგლების დასადგენად და ზემოთ მოყვანილი ტოლობით შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის გამოთვლა.

თანამედროვე სპექტრულ ანალიზში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს 100—30000 მმკ ტალღის სიგრძის სხივები. აქედან 100—1200 მმკ ფარგლებში სპექტროფოტომეტრიული განსაზ-

ლვრისათვის სპექტრის ულტრაიისფერ, ხილვად და ახლო ინფრაწი-
თელ არეში, ხოლო ინფრაწითელი სპექტროგრაფია გამოყენებულია
ნაერთთა სტრუქტურის შესასწავლად.

სპექტროფოტომეტრიულად შესაძლებელია ისეთი ნივთიერების
განსაზღვრა, რომელთა სტრუქტურაში შედის არომატული, ჰეტე-
როციკლური და ზოგიერთი სხვა ბირთვები.

ორგანულ ნაერთთა მოლეკულის სტრუქტურის თავისებურებანი
განაპირობებს ელექტრული სპექტრის ხასიათს; ამისდა მიხედვით
არჩევენ მოლეკულაში ატომთა შორის კავშირის სამ თავისებურე-
ბას: ორდინალურს, ჯერადს და ბმას, განპირობებულს ელექტრო-
ნული წყვილებით.

ულტრაიისფერი სპექტრის შთანთქმა გამოწვეულია ელექტრო-
ნების აგზნებით. როგორც ცნობილია, მოლეკულაში ატომთა ბმა
განპირობებულია ელექტრონებით; ამ კავშირის სიმტკიცე და აქე-
დან გამომდინარე ელექტრონების გადასვლის დამახასიათებელი
ენერგია განისაზღვრება ატომგულის ბუნებით. ამგვარად, ტალღის
სიგრძე, რომლის დროსაც ხდება შთანთქმა, დამახასიათებელი თვი-
სებაა უფრო მეტად ატომთა ჯგუფისათვის, ვიდრე ელექტრონები-
სათვის.

სინათლის სპექტრის შთანთქმა განპირობებულია ატომთა ჯგუ-
ფით, რომელსაც ქრომოფორებს უწოდებენ. ქრომოფორების
სტრუქტურის შეცვლა თავის მხრივ ცვლის შთანთქმის ხასიათს და
სწორედ მასზეა დამყარებული შთანთქმის სპექტრის გამოყენება
ნაერთთა მოლეკულის სტრუქტურის დადგენისათვის.

სინათლის შთანთქმასა და მოლეკულის სტრუქტურას შორის
დამოკიდებულება ემპირიულ მონაცემებს ემყარება. ამის გამო
ელექტრული სპექტრების დახმარებით მოლეკულის სტრუქტურის
დადგენით პრობლემების წარმატებით გადაჭრისათვის უნდა ვიცო-
დეთ სხვადასხვა ქრომოფორების სპექტრალური მახასიათებლები.
ხელსაწყოებს, რომლებიც გამოიყენება ნივთიერებათა ფოტომეტ-
რიული გამოკვლევისათვის სხვადასხვა სიგრძის ტალღის სხივების
(მონოქრომატული) გამოყენებით, ეწოდებათ სპექტროფოტომეტ-
რები.

თანამედროვე სპექტროფოტომეტრები რთულ ოპტიკურ-ელექ-
ტრონულ ხელსაწყოებს წარმოადგენენ, რომელთაგან უპირატესობა

ენიჭება ნახევრადავტომატურ და ავტომატურ სპექტროფოტომეტ-
რებს.

სპექტროფოტომეტრი წარმოადგენს სინათლის აბსოლუტური და
ფარდობითი ინტენსივობის, განმსაზღვრელ ფოტომეტრის კომბინა-
ციას მონოქრომატორთან, რომელიც ემსახურება მონოქრომატული
სხივების მიღებას.

დაწვრილებითი მონაცემები ხელსაწყოთა კონსტრუქციისა და
მათზე მუშაობის შესახებ აღწერილია შესაბამის ინსტრუქციებში,
რომელიც აპარატს თან ერთვის.

სპექტროფოტომეტრიულად ამჟამად ბევრი სამკურნალწამლო
პრეპარატი განისაზღვრება როგორც სუფთა სახით, ასევე მათი
რთული შემადგენლობის წამლის ფორმებში. რიგი ვიტამინების, ან-
ტიბიოტიკების, ჰორმონების და სხვათა სპექტროფოტომეტრიული
ანალიზი აღწერილია მოქმედ ფარმაკოპეაში (X) ხოლო XI ფარმა-
კოპეაში გათვალისწინებულია ამ მეთოდის გაცილებით უფრო ფარ-
თოდ გამოყენება.

წამალთა ანალიზში სპექტროფოტომეტრიული მეთოდების გა-
მოყენებისათვის ფართო მუშაობა ტარდება ამჟამად. ამ მხრივ
განსაკუთრებით აღსანიშნავია ლვოვის სამედიცინო ინსტიტუ-
ის, მოსკოვის სამედიცინო ინსტიტუტის და აგრეთვე თბილისის
სამედიცინო ინსტიტუტის ფარმაცევტული ქიმიის კათედრაზე მიმ-
დინარე გამოკვლევები.

სპექტროფოტომეტრია ულტრაიისფერ უბანში

სპექტრის ულტრაიისფერ არეში საზღვრავენ ისეთ ნივთიერე-
ბებს, რომელთაც განსაკუთრებული აღნაგობა აქვთ (მაგ. არომატუ-
ლი ნაერთები, ნაერთები ორმაგი ბმით, ზოგ ლითონთა ნაერთები და
სხვა). აღნიშნულ არეში განსაზღვრისათვის საკვლევი ნივთიერება
შეიძლება იყოს სამივე აგრეგატულ მდგომარეობაში — მყარი, თხე-
ვადი, გაზობრივი. მიუხედავად ამისა, ძირითადად, საკვლევი ნივთი-
ერება გამოიყენება ხსნარის სახით. სპექტროფოტომეტრში 186—
350 ნმ ფარგლებში გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს დეიტერი-
უმის ნათურა; ხილვად უბანში სპექტროფოტომეტრებისათვის
340-დან 1100-მდე გამოყენებულია ვარვარების ნათურა.

ხსნარების კონცენტრაციის განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით ემყარება ბუგერ-ლამბერტ ბერის კანონს. კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია ტოლობა:

$$C = \frac{D}{E^{1\%}_{1\text{სმ}} \cdot d}, \qquad (1)$$

სადაც — C — კონცენტრაციაა, D — ოპტიკური სიმკვრივე, d — ფენის სისქე, $E^{1\%}_{1\text{სმ}}$ — შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებელი.

ზოგ შემთხვევაში, მონოქრომატული გამოსხივების დროსაც კი შეიძლება იყოს გადახრები ბერის კანონიდან, გამოწვეული მოლეკულათა შორის დისოციაციის, ასოციაციის ან კომპლექსწარმოქმნის პროცესებით. ასეთი გადახრების დროს იყენებენ არა (1) ფორმულას, არამედ ექსპერიმენტულად ნაპოვნ დამოკიდებულებას ოპტიკურ სიმკვრივესა და კონცენტრაციაზე; აგებენ D/C შორის დამოკიდებულების საკალიბრო გრაფიკს.

ულტრაიისფერ არეში განსაზღვრებს აწარმოებენ ხელსაწყოზე, რომელსაც სპექტროფოტომეტრი ეწოდება.

სპექტროფოტომეტრის აუცილებელ კონსტრუქციულ ნაწილს წარმოადგენს მონოქრომატორი, რომლის საშულებითაც ხდება გამოსხივების ვიწრო ზოლების იზოლირება. მონოქრომატორის მადისპერგირებელი სისტემაა პრიზმა ან დიფრაქციული მესერი. ორმაგი მონოქრომატორის არსებობის დროს შესაძლებელია ორივე პრინციპის კომბინაცია.

მონოქრომატორის მიერ გამოყოფილი სპექტრის ინტერვალი დამოკიდებულია ნაპრალის სამუშაო სისქეზე.

როგორც აღვნიშნეთ, სპექტროფოტომეტრულ განსაზღვრებს ძირითადად ხსნარებში აწარმოებენ. გამოყენებული გამხსნელი მდგრადი უნდა იყოს სამუშაო ტალღის სიგრძის გამოსხივების მიმართ, უნდა იყოს ოპტიკურად მუდმივი, არ ფლუორესცირებდეს, არ უნდა შთანთქავდეს სინათლის სპექტრს იმავე უბანში, რომელშიც საკვლევი ნივთიერება, მასში კარგად უნდა იხსნებოდეს საკვლევი ნივთიერება, მაგრამ არ უნდა შედიოდეს მასთან რეაქციაში.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში მოცემულია სპექტროფოტომეტრიაში გამოყენებული ზოგიერთი გამხსნელის მახასიათებლები.

სპექტროფოტომეტრიაში გამოყენებულ გამხსნელთა მახასიათებლები

გამხსნელი	გამტარებლობის მოკლეტალღოვანი ზღვრის ტალღის სიგრძე	გარდატეხის მაჩვენებელი	დიელექტრული შეღწევადობის მაჩვენებელი
აცეტონი	326	1,3591	20,74
ბენზოლი	210	1,3437	37,4
აცეტონიტრილი	276	1,5011	2,275
ბრომოფორმი	360	1,5977	4,385
ბუთანოლი	210	1,3993	17,7
α-ბრომნაფთალინი	—	1,6582	4,89
წყალი	200	1,333	78,3
n-ჰექსანი	210	1,3750	1,90
n-ჰეპტანი	210	1,3876	1,927
დეკალინი ცის	215		
ტრანს	215	1,4804	2,22
		1,4697	2,18
დიოქსანი	213	1,4223	2,21
1,2-დიქლორეთანი	235	1,4443	10,36
დიქლორმეთანი	235	1,4237	8,93
N, N-დიმეთილფორმამიდი	270	1,4294	37,6
იზოოქტანი	210	1,3916	1,943
მეთანოლი	215	1,3286	32,65
მეთილ-ციკლოჰექსანი	210	1,4231	2,02
მეთილფორმიატი	260	1,344	8,50
ეთილფორმიატი	260	1,3597	7,16
ნიტრომეთანი	380	1,3820	38,57
ნიტროეთანი	~380	1,3901	28,06
ნიტრობენზოლი	~380	1,5524	34,75
n-ოქტანი	210	1,3977	1,946
n-პენტანი	210	1,3577	1,843
2-პროპანოლი	210	1,3776	18,3
პირიდინი	305	1,5102	12,3
გოგირდნახშირბადი	376	1,6277	2,625
ტეტრაქლორეთილენი	290	1,5055	2,30
ტრიეთილამინი	250	1,4010	2,42
ყინ. ძმარმჟავა	248	1,3715	6,19
ფორმამიდი	270	1,4472	109,5
ქლოროფორმი	245	1,4456	4,724
ციკლოჰექსანი	210	1,4263	2,02
ციკლოჰექსანოლი	220	1,461(37°)	16,8
ოთხქლორნახშირბადი	265	1,4603	2,238
ეთანოლი	210	1,3613	25,2
ეთილის ეთერი	210	1,3528	4,22
ეთილაცეტატი	251	1,3728	6,02
ეთილენდიამინი	—	1,454	14,2

სამკურნალო საშუალებათა განსაზღვრის დროს გამხსნელად უმეტეს შემთხვევაში გამოიყენება წყალი და ეთანოლი.

განსაზღვრის პროცესში მონოქრომატორიდან გაძომავალი განსაზღვრული ტალღის სიგრძის სინათლის გზაზე მორიგეობით თავსდება საკონტროლო ხსნარი (გამხსნელი ან ხსნარი, რომელიც შეიცავს ყველა იმ კომპონენტს რასაც საკვლევი ხსნარი საანალიზო კომპონენტის გარდა), რომლისთვისაც D=0 და საკვლევი ხსნარი.

D-ს განსაზღვრის დროს, ცდომილების შემცირების მიზნით ხსნარის კონცენტრაცია და მისი ფენის სისქე შეირჩევა ისე, რომ D საკვლევ სპექტრალურ არეში მოთავსდეს 0,2-დან 0,7-მდე. ნივთიერების შთანთქმის უნარის მიხედვით ეს მიიღწევა 0,01-დან 0,00001 %-ის დროს (კიუვეტის ფენის სისქე 1 სმ).

გამოიანგარიშებენ შთანთქმის მოლარულ ან ხვედრით მაჩვენებელს. შთანთქმის მოლარული მაჩვენებელი (ε) ეს არის ნივთიერების ერთმოლარული ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე, როცა ფენის სისქე 1 სმ-ია. შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებელი ($E_{1\,\text{სმ}}^{1\%}$) — ეს არის ისეთი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე, რომლის 100 მლ-ში გახსნილია 1 გ ნივთიერება (ფენის სისქე იგივეა).

შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლიდან მოლარულზე გადასვლა ხორციელდება ფორმულით:

$$\varepsilon = E_{1\,\text{სმ}}^{1\%}\,\frac{M}{10},$$

სადაც M — მოლეკულური წონაა.

თუ ცნობილია მნიშვნელობა (ε ან $E_{1\,\text{სმ}}^{1\%}$ ფორმით), მაშინ საკვლევი ხსნარის კონცენტრაციას საზღვრავენ ოპტიკური სიმკვრივის — D მიხედვით და იყენებენ (1) ფორმულას.

რაოდენობრივი განსაზღვრების დროს, მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს შთანთქმის ის უბნები, რომლებიც პასუხობენ შემდეგ პირობებს:

1. მოცემული უბანი, შეძლებისდაგვარად თავისუფალი უნდა იყოს საანალიზო სისტემის სხვა კომპონენტების შთანთქმის უბნების ზედდებისაგან;

2. შერჩეული უბანი უნდა გამოირჩეოდეს საკმაოდ დიდი შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლით ინდივიდუალური ნივთიერებებისათვის, ასეთ უბნებს უწოდებენ ანალიზურს.

მიღებული სპექტრების ანალიზის დროს გამოიყენებენ შთანთქმის უბნის მაქსიმუმს ან მინიმუმს და არა მრუდის მკვეთრი დაცემის ან ზესვლის ადგილებს.

მრავალკომპონენტიანი სისტემებისათვის თითოეული კომპონენტის ანალიზური უბნის გამოყოფა ცალ-ცალკე გართულებულია. მაშინ, რაოდენობრივი განსაზღვრა წარმოებს ტალღის სხვადასხვა სიგრძეზე ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრით და სწორხაზოვანი ტოლობის სისტემის ამოხსნით, რომელიც აკავშირებს ნარევის ჯამურ ოპტიკურ სიმკვრივეს მოცემული ტალღის სიგრძეზე — ყოველი ინდივიდუალური კომპონენტის ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდესთან. მაგ: ორი შეფერილი ნივთიერების სისტემისათვის, რომელთა შთანთქმის სპექტრების ზედდებაც ხდება, C_1 და C_2 კონცენტრაციების განსაზღვრა წარმოებს ორ სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე შემდეგი ტოლობის მიხედვით:

$$D\lambda_1 = \varepsilon_1\lambda_1 c_1 b + \varepsilon_2\lambda_1 c_2 b;$$

$$D\lambda_2 = \varepsilon_1\lambda_2 c_1 b + \varepsilon_2\lambda_2 c_2 b; \qquad (3)$$

სადაც $D\lambda_1$ და $D\lambda_2$ — ექსპერიმენტულად გაზომილი ოპტიკური სიმკვრივეებია ორი ნივთიერების ნარევისთვის, λ_1 და λ_2 ტალღის სიგრძეებზე, $F_1\lambda_1$ და $E_2\lambda_2$ ერთი ნივთიერების შთანთქმის მოლარული კოეფიციენტები λ_1 და λ_2 ტალღის სიგრძეებზე: $F_2\lambda_1$ და $E_2\lambda_2$ — მეორე ნივთიერების შთანთქმის მოლარული კოეფიციენტები λ_1 და λ_2 ტალღის სიგრძეებზე, b — ნივთიერების ფენის სისქე სანტიმეტრებში.

შთანთქმის მოლარული კოეფიციენტის მნიშვნელობას საზღვრავენ ექსპერიმენტულად, ამისთვის ზომავენ ყოველი ნივთიერების სტანდარტული ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს λ_1 და λ_2 ტალღის სიგრძეზე. ტოლობის სისტემას (3) ამოხსნიან ორი უცნობი კონცენტრაციის C_1 და C_2 მიმართ.

ფარდობითი ცდომილება სპექტროფოტომეტრული განსაზღვრებისას ინდივიდუალური ნივთიერებებისათვის ჩვეულებრივ არ აჭარბებს 2%-ს, ნარევის ანალიზის დროს ცდომილება იზრდება.

სპექტროფოტომეტრის შკალის გამტარებლობის შესამოწმებლად გამოიყენებენ კალიუმის ბიქრომატის სტანდარტულ ნიმუშს. ქვემოთ მოყვანილია კალიუმის ბიქრომატის სტანდარტული ნიმუშის ხსნარის დასაშვები ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობები, რომელიც შეიცავს 60,06 მგ 1000 მლ გოგირდმჟავას ხსნარში (0,005 მოლი/ლ) როცა ფენის სისქე 10 მმ-ია

ტალღის სიგრძე (λ), ნმ	235	257	313	350
ოპტიკური სიმკვრივე D	0,748	0,845	0,292	0,640

ქვემოთ მოცემულია ზოგიერთი სამკურნალწამლო პრეპარატის შთანთქმის მაქსიმუმები ულტრაიისფერ არეში და შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის მნიშვნელობანი ცხრ. № 22.

ცხრილი 22

ზოგიერთ ნივთიერებათა შთანთქმის მაქსიმუმი ულტრაიისფერ არეში და შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლის მნიშვნელობანი (1%-იანი ხსნარები, ფენის სისქე 1 სმ)

ნივთიერება	λ მაქსიმუმი	ε	გამხსნელი
1	2	3	4
ადრენალინი	280	150	0,01 ნ HCl
აზათიოპრინი	281	602	"
აკრიქინი	279	1020	წყალი
	222	517	0,1 ნ H_2SO_4
	279,5	1282	"
ალანტოინი	224	350	ბუფ. ხსნ. pH 9,4
ამიდოპირინი	256	520	0,1 ნ H_2SO_4
ამინაზინი	254	880	"
	305	110	"
ბ-ამინობენზოეს	228	340	ეთილის სპირტი
მჟავა	289	1256	"
ბ-ამინოსალიცილის	239	545	0,1 ნ H_2SO_4
მჟავა (პასკ)	281	949	"
	304	101	"
	234	417	0,1 ნ HCl
	300	277	"
	265	797	0,1 ნ NaOH
	298	520	"
ამიტრიპტილინი	239	450	მეთილის სპირტი
ანაპრილინი	217	1350	0,1 ნ H_2SO_4
	293	220	"
ანესთეზინი	221	553	ეთილის სპირტი
	294	1349	"
	227	788	0,1 ნ HCl
	272	101	"
	278	99	"
ანთაზოლინი	241	570	"
	291	76	"
ანტიპირინი	230	588	0,1 ნ H_2SO_4
აპომორფინი	273	741	"
აპრესინი	240	711	წყალი
	260	662	"
	303	331	"
	315	258	"
აცეტილსალიცილის	229	484	0,1 ნ H_2SO_4
მჟავა	276	65	"
აცეფენი	225	345	"
	270	40	"

1	2	3	4
ბარბიტალი	240	538	ბუფ. ხსნარი pH 10
ბეტამეტაზონ-დი ნატრიუმის ფოსფატი	241	297	წყალი
ბიგუმალი	258	715	მეთილის სპირტი
	247	387	0,1 ნ H_2SO_4
ბრომიზოვალი	229	160	0,1 ნ NaOH
ბრუცინი	267	302	ეთილის სპირტი
	301	214	"
	265	328	0,1 ნ H_2SO_4
	300	219	"
ბუკარბანი	269	756	ეთილის სპირტი
	266	151	0,1 ნ HCl
	272	143	"
	255	598	0,1 ნ NaOH
ბუტიდიონი	240	534	ეთილის სპირტი
	264	660	0,1 ნ NaOH
ბუტამიდი	228	500	ეთილის სპირტი
	257	22	"
ბუთილჰიდროქსიანიზოლი (BHA)	228	340	ეთილის სპირტი 0,1 ნ HCl (49:1)
	292	205	"
ბუთილჰიდროქსიტოლუოლი (BHT)	278	85	ეთილის სპირტი
ბუტობარბიტალი	240	280	ბუფ. ხსნარი pH 10
ვარფარინი	308	462	0,01 ნ NaOH
ვიდექსი	248	640	KOH-ის 0,1ნ სპ. ხსნ
	264	266	0,1 ნ H_2SO_4
ვიკასოლი	298	133	წყალი
ვიტამინი K_1	248	328	ეთილის სპირტი
ვიტამინი K_2	249	520	ჰექსანი
ჰალოპერიდოლი	247	316	იზოპ. სპირტი 0,1 ნ HCl (9:1)
ჰექსაქლოროფენი	293	140	ეთილის სპირტი
	300	152	"
	249	402	0,1 ნ NaOH
	320	303	"
ჰიდროკორტიზონი	240	420—440	აბსოლ. ეთ. სპირტი
ჰიდროკორტიზონ აცეტატი	240	380—400	"
ჰიდროქსიზინი	232	410	0,1 ნ H_2SO_4
	257	19	"
ჰიდროქინონი	225	518	ეთილის სპირტი
	259	282	"
გლიბენკლამიდი	227	597	მეთილის სპირტი
	273	32	"
	293	68	"
გრიზეოფულვინი	291	686	ეთილის სპირტი
გუანოქსანი	275	92	0,1 ნ H_2SO_4

1	2	3	4
დეზაცეტილლანატოზიდი C	490	150—165	ეთილის სპირტი
დეზიპრამინი	251	363	0,1 ნ H_2SO_4
	275	294	"
დეზოქსიკორტიკოსტერონ აცეტატი	240	430—450	ეთილის სპირტი
დეკამეტონის იოდიდი	227	584	0,1 ნ H_2SO_4
დექსამეტაზონი	240	355	მეთილის სპირტი
	263	422—455	"
დემეთილქლორტეტრაციკლინი	385	369	წყალი
	227	517	0,1 ნ H_2SO_4
	268	517	"
	368	348	"
დიაზეპამი	241	1402	"
	284	700	"
	359	170	"
დიაკარბი	264	491	ეთილის სპირტი
დიბენზთიონი	290	580—620	"
დიგიტოქსინი	235	270	H_2SO_4
	340	240	"
	420	240	"
	485	230	"
დიგიდროლაზინი	219	1466	0,1 ნ H_2SO_4
	240	388	"
	274	207	"
	308	213	"
დიგოქსინი	230	260	H_2SO_4
	320	225	"
	390	305	"
	490	210	"
დიენესტროლი	228	1200	ეთილის სპირტი
	276	160	"
დიკაინი	227,5	500	0,1 ნ H_2SO_4
დიკუმარინი	312	860	0,1 ნ NaOH
დიმესტროლი	237	380—400	ეთილის სპირტი
დინეზინი	250	1200	წყალი
	292	125	"
დიოქსოპრომეტაზინი	264	350—380	0,1 ნ HCl
	328	150—180	"
	236	520	0,1 ნ H_2SO_4
დიპირიდამოლი	283	533	"
დიპრაზინი	398	123	"
	252	880	წყალი—ეთ. სპირ. 1:1
	301	110	"
	249	1026	0,1 ნ HCl
დითიაზანინი	652	637	მეთილის სპირტი
დიტრანოლი	254	440	ქლოროფორმი

1	2	3	4
3-3'-დიქლორდიფენილ (ტრიქლორმეთილ) მეთანი (დდტ)	236	620	0,1 ნ H_2SO_4
დიქლოთიაზიდი	273	532	0,1 ნ NaOH
	320	103	
დიეთილსტილბესტროლი	240	580—585	ეთილის სპირტი
დოფამინი	279,5	133	0,1 ნ H_2SO_4
იდოქსურიდინი	280	160	0,1 ნ NaOH
იზადრინი (ჰიდროქლორიდი)	279	113	წყალი
იზონიაზიდი	266	378	„
იმიზინი	251	238	0,1 ნ H_2SO_4
კოდეინის ფოსფატი	284	52,3	წყალი
კლოსტებოლის აცეტატი	255	375—400	მეთილის სპირტი
კოლხიცინი	243	730	ეთილის სპირტი
კორბადრინი	282	146	მეთილის სპირტი
კარბამაზეპინი	283	147	0,1 ნ H_2SO_4
	211	1255	„
კორდიამინი	155	740	0,1 ნ NaOH
	260	860	„
	263,5	273	0,1 ნ H_2SO_4
კორტიზონ აცეტატი	240	380—400	აბს. ეთილ. სპირტი
კოფეინი	273	458—515	წყალი
ლევალლორფანი	229	148	ეთილის სპირტი
	281,5	54,5	„
	240	312	0,1 ნ NaOH
	299	107	„
ლევომიცეტინი	278	298	წყალი
	276	200	0,1 ნ NaOH
	278	284	0,1 ნ H_2SO_4
ლევომიცეტინ პალმიტატი	271	176	ეთილის სპირტი
ლემორანი	240	198	0,1 ნ NaOH
	299	70	„
ლობელინი	249	416	0,1 ნ HCl
მეზატონი	238	575	0,1 ნ NaOH
	291	192	„
	270	007	0,1 ნ H_2SO_4
მერკაზოლილი	211	539	„
	251,5	1528	„
მეტაკვალონი	234	1280—1340	6,1 ნ HCl
	269	290—320	„
მეტერაზინი	255	740	0,1 ნ NaOH
	253	700	0,1 ნ H_2SO_4
მეთილდოფა	220	300	„
	279	138	„
მეთილპრედნიზოლონი	240	390—410	აბს. ეთილ. სპირტი
მეტრონიდაზოლი	277	380	0,1 ნ HCl
მეთილსალიცილატი	238	570	ეთილის სპირტი

1	2	3	4
მეთილტესტოსტერონი	241	535—555	მეთილის სპირტი
მეთილთიოურაცილი	260	760—800	0,1 ნ NaOH
მეთილფენობარბიტალი	240	458	ბუფ. ხსნარი pH 10
მეთილერგომეტრინი	226	699	0,1 ნ H_2SO_4
	313	255	„
მორფინი	250,5	225	0,1 ნ NaOH
	296,	116	„
მორფინის ჰიდროქლორიდი	285	41	წყალი
ნალორფინის ჰიდროქლორიდი	285	44	„
ნაფტალინი	266	411	ეთილის სპირტი
	275	454	„
	286	307	„
ნაფტიზინი	271	270	0,01 ნ HCl
	281	311	„
	288	217	„
	291	217	„
ნიკოტინი	260	490	0,1 ნ H_2SO_4
ნიკოტინამიდი	262	238	ეთილის სპირტი
ნიპაზოლი (პროპილპარაბენი)	294	1380	0,1 ნ NaOH
	255	920	0,1 ნ H_2SO_4
ნიტრაზეპამი	277,5	1500	„
ნოვოკაინი	290	680	წყალი
ნოვოკაინი (ფუძე)	228	450	0,2 ნ H_2SO_4
ნოვოკაინამიდი	275	693	0,02 ნ HCl
	224	466	0,1 ნ H_2SO_4
ნოქსირონი	233,5	620	0,1 ნ NaOH
ნორადრენალინის ჰიდროტარტრატი	279	76—84	0,01 ნ HCl
ნორსულფაზოლი	258	452	წყალი
	284	549	„
ნორეთინოდრელი	240	560	ეთილის სპირტი
ნორეთისტერონ აცეტატი	240	490—520	„
ოქსაზეპამი	230	1200	„
	315	85	„
ოქსიპროგესტერონ (ჰიდროქსიპროგესტერონ) აცეტატი	240	380—410	მეთილის სპირტი
ოქსიტერაციკლინის (ჰიდროქსიტეტრაციკლინის) ჰიდროქლორიდი	268	375—405	0,01 ნ HCl
	353	270—295	„
8-ოქსიქინოლინი (8-ჰიდროქსიქინოლინი)	242	2950	ეთილის სპირტი
	315	175	„
	252	2750	0,1 ნ HCl
	309	73	„
პამახინი	237,5	477,5	0,1 ნ NaOH
	287,5	566	„
	297,5	400	„

1	2	3	4
პაპავერინი	250	1830	0,1 ნ HCl
	284	193	"
	310	253	"
პარაცეტამოლი	256,5	770	0,1 ნ NaOH
	242	700	0,1 ნ H_2SO_4
	249	900	მეთილის სპირტი
პილოკარპინი	215	250	0,2 ნ H_3SO_4
პირაზინამიდი	268	1310	წყალი
	310	110	"
	269	652	0,1 ნ H_2SO_4
	312	43	"
პირიდოქსინის ჰიდროქლორიდი	254	219	ბუფ. ხსნ. pH 7
	324	426	"
	291	523	0,1 ნ HCl
პირიდოსტიგმინის ბრომიდი	269	265	წყალი
	269	180	0,1 ნ H_2SO_4
პრალიდოქსიმის იოდიდი	225	710—750	0,1 ნ HCl
(პალდომი)	262	127—165	"
	294	470—510	"
პრეგნინი	240	520	ეთილის სპირტი
პრედნიზოლონ აცეტატი	240	360—400	"
პრედნიზოლონ ტრიაცეტატი	240	330—350	აბს. ეთილის სპირტი
პრედნიზონი	240	420—440	"
პრედნიზონ აცეტატი	240	380—400	"
პრიმახინი	265	990	0,1 ნ HCl
	282	680	"
პროგესტერონი	241	542—545	მეთილის სპირტი
	253	930	წყალი—ეთანოლი 1:1
	303	130	
პროფენამინი	249	2780	0,1 ნ H_2SO_4
	199	152	"
	362	46	"
რეზერპინი	267	239	ეთილის სპირტი
	294	150	"
რეტინოლი	325	400—800	"
რეტინოლ აცეტატი	327	1530	იზოპროპილ. სპირტი
რეტინოლ პალმიტატი	327	955	"
რიბოფლავინი	222	942	წყალი
	267	873	"
	371,5	277	"
	445	324	წყალი
რუტინი	257,7	380	აბს. ეთილის სპირტი
სალიცილამიდი	235	543	ეთილის სპირტი
	302	295	"
	242	536	0,1 ნ NaOH
	328	435	"

1	2	3	4
სალიცილმჟავა	236,5	620	0,1 ნ H_2SO_4
	302	275	0,1 ნ NaOH
	298,5	263	"
სახარინი (ხსნადი)	267,5	69	წყალი
სკოპოლამინის მეთილბრომიდი	257	450—498	"
სოვკაინი	243,5	472	0,1 ნ H_2SO_4
სტილბესტროლი	259	764	0,1 ნ NaOH
სტრეპტოციდი	263	1106	ეთილის სპირტი
	254	1402	0,1 ნ NaOH
სტროქნინი	255	377	ეთილის სპირტი
	255	315	0,1 ნ H_2SO_4
სულგინი	259	635	წყალი
	264	800	ეთილის სპირტი
სულთიამი	246	400	მეთილის სპირტი
სულფადიმეზინი	240	600	წყალი
	272	660	"
სულფადიმეტოქსინი	269	840	0,001 ნ NaOH
სულფაზინი	270	844	ეთილის სპირტი
სულფამერაზინი	244	875	წყალი
	257	822	"
	271	835	ეთილის სპირტი
სულფაპირიდაზინი	267	860	"
სულფაფენაზოლი	267	454	მეთილის სპირტი
	258	452	წყალი
	284	549	"
სულფიფურაზოლი (სულფა-	268	480	0,01 ნ HCl
ზოლი)	253	780	0,01 ნ NaOH
თეობრომინი	273	550	ბუფ. ხსნ. pH 9
თეოფილინი	270	530	0,1 ნ HCl
ტესტოსტერონი	240	560	ეთილის სპირტი
ტესტოსტერონ პროპიონატი	241	480—510	მეთილის სპირტი
ტეტრაციკლინი	380	365	წყალი
	270	501	0,1 ნ H_2SO_4
	356	360	"
თიმოლი	239,5	505	0,1 ნ NaOH
	292	260	"
თიოშარდოვანა	250	487	წყალი
	236	1580	"
თიორიდაზინი	263	1030	ეთილის სპირტი
	314	124	"
	230	565	0,1 ნ H_2SO_4
	263	1240	"
	313	141	"
DL-α-ტოკოფეროლი	292	21—76	აბს. ეთილის სპირტი
α-ტოკოფეროლ აცეტატი	284	40—44	"

1	2	3	4
ტრიამტერენი	360	840	10%-იანი მჟავა
	314	90—140	ეთილის სპირტი
	239	570	0,1 ნ H_2SO_4
	314	320	„
ტრიპელენამინი	239	570	„
	314	320	„
D-ტუბოკურარინის ქლორიდი	280	118	წყალი
ფარინგოსეპტი	398,5	1665	0,1 ნ H_2SO_4
ფენაცეტინი	250	908	ეთილის სპირტი
ფენილინი	269	1006	„
ფენობარბიტალი	240	431	ბუფ. ხსნარი pH 10
ფიზოსტიგმინი	246	390	0,2 ნ H_2SO_4
ფლავაკრიდინი	238	720	0,1 ნ HCl
ფოლედრინი	224	332	0,1 ნ H_2SO_4
	275	88	„
ფოლის მჟავა	256	545—565	0,1 ნ NaOH
	283	530—545	„
	365	190—200	„
ფტალაზოლი	260	497	ეთილის სპირტი
	291	651	„
ფურადონინი	370	776	მეთილის სპირტი
ფურაზოლიდონი	366	1020	დიმეთილ-ფორმამიდის-0,2%-იანი ხსნ.
ფურაცილინი	365	850—875	ეთილის სპირტი
ქინგამინი	257	312	0,01 ნ HCl
	329	244	„
	343	392	0,1 ნ HCl
ქინიდინი	236	1110	ეთილის სპირტი
	278	132	„
	332	163	„
ქინინი	250	1005	0,1 ნ H_2SO_4
	316	154	„
	346	188	„
ქლორჰექსიდინი	254	447	„
ქლორდიაზეპოქსიდი	243	1000	0,1 ნ NaOH
	260	1080	„
	245	310	0,1 ნ H_2SO_4
ქლორმადინონ აცეტატი	285	550—575	მეთილის სპირტი
ქლორპროგუანილი	250	347	0,1 ნ H_2SO_4
ქლორპროკაინი	229	350	ბუფ. ხსნ. pH 4,5
	291	524	„
ქლორპროპამიდი	232	600	0,01 ნ HCl
ქლორტეტრაციკლინის ჰიდრო-ქლორიდი	274	740—760	0,1 ნ H_2SO_4
	265	340—355	0,01 ნ HCl
	369	180—190	„
ქლორთიაზიდი	292	450	0,1 ნ NaOH
	228	900	„

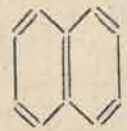
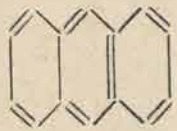
1	2	3	4
ქოლეკალციფეროლი	265	450—490	ეთილის სპირტი
ცელანიდი	230	235	H_2SO_4
	390	295	„
	480	160	„
ცეტილპირიდინის ქლორიდი	259	124	წყალი
ციანკობალამინი	361	392—414	„
	278	218—230	„
	550	120—126	„
ციკლიზინი	225	394	0,1 ნ HCl
ციკლობარბიტალი	240	423	ბუფ. ხსნარი pH 10
ციკლოსერინი	220	421	0,1 ნ H_2SO_4
ერგოკალციფეროლი	265	460—504	აბს. ეთილის სპირტი
ერგომეტრინი	312	250	0,1 ნ H_2SO_4
ერგომეტრინის ტარტრატი	239	292	1%-იანი ღვინის მჟავა
ეტაკრიდინი	269,5	1874	0,1 ნ H_2SO_4
ეტაკრინის მჟავა	227	470	0,1 ნ NaOH
ეთინილესტრადიოლი	280	150	„
ეთიონამიდი	280	71	ეთილის სპირტი
	290	415	„
	229,5	638	0,1 ნ H_2SO_4
	276	410	„
	317	212	„
ეტაპერაზინი	256,5	840	0,1 ნ NaOH
ეუფილინი	274	570	„
	270	485	0,1 ნ H_2SO_4

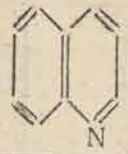
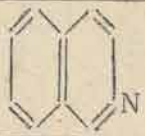
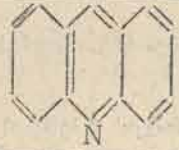
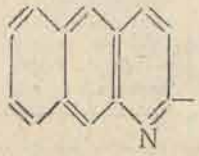
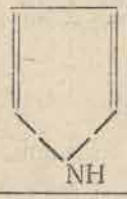
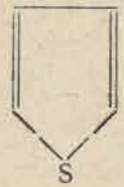
ქვემოთ მოგვყავს ზოგიერთი ორგანული ნაერთის და სამკურნალო პრეპარატის სპექტრის შთანთქმის მონაცემები.

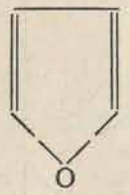
ცხრილი 23

ზოგიერთი არომატული და უჯერი ჰეტეროციკლური მოლეკულების შთანთქმა ულტრაიისფერ უბანში

(მოყვ. ბრენდით და სკოტით)

№№ რიგზე	სახელწოდება	ფორმულა	λ —მაქსიმუმი მმკ-ში	ε —მაქსიმუმი
1	2	3	4	5
1	ბენზოლი		184 204 255	60000 7900 200
2	ნაფთალინი		220 276 311	95000 5600 250
3	ანტრაცენი		253 356	210000 8000
4	პირიდინი		174 195 251	80000 6000 1770

1	2	3	4	5
5	ქინოლინი		227 270 314	37000 2000 2750
6	იზოქინოლინი		218 266 317	80000 4000 3500
7	აკრიდინი		250 355	107000 10500
8	2,4-დიმეთილ-ბენზო (6, 7) ქინოლინი		254 356	115000 6300
9	პირროლი		210	14000
10	თიოფენი		230	4500

1	2	3	4	5
11	ფურანი		204	5600

ცხრილი 24

ზოგიერთი სამკურნალო პრეპარატის შთანთქმის მაქსიმუმები
ულტრაიისფერ არეში შთანთქმის ხვედრითი მაჩვენებლების მნიშვნელობანი

(რ. მ. პინიაჟკოს მიხედვით)

პრეპარატის სახელწოდება	მაქსიმუმი λ მკ-ში	კონცენტრაციის ფარგლები (მგ. 100 მლ), რომელშიც ვლინდება შუქის შთანთქმის კანონი	$E^{1\%}_{1см}$ მნიშვნელობანი	გამხსნელი
1	2	3	4	5
სუპრასტინი	240 305	0,25—4,0 0,50—6,0	140 150	წყალი "
პირიდოქსინის ჰიდროქლორიდი	292	2,0 —7,5	312,93	წყალი
ტეტრიდინი	302	0,25—4,0	510	ეთანოლი
ლობელინის ჰიდროქლორიდი	245	0,25—3,0	365,1	წყალი
პრომედოლი	255	50,0 —200,0	6,3	"
ნიკოტინ მჟავა	260	0,5 —5,0	345	"
ნატრიუმნიკოტინატი . .	260	0,5 —5,0	278	"
ფენატინი	252	1,0 —10,0	120	"
იზონიაზიდი	259	0,5 —5,0	329,14	ეთანოლი
მეტაზოლი	261	0,25—4,0	414,17	ეთანოლი
ფტივაზიდი	274 330	0.5 —6,0 0,25—2,0	325 859,78	ეთანოლი

1	2	3	4	5
სალუზიდი	246 321	0 5 —5,0 0,1 — 20	300,45 545,17	ეთანოლი
სალუზიდი ხსნადი . . .	240 315	0,25 5,0 0,25—2,5	320 594,67	წყალი
ლარუსანი	334	0,05—2,0	1157	ეთანოლი
პაპავერინის ჰიდროქლორიდი	238 280 315 325	0,1 —1,5 1,0 —5,0 1,0 —5,0 1,0 —5,0	1600 190 105 121	წყალი
აპომორფინის ჰიდროქლორიდი	270	0,25—4,0	512,3	
სალსოლინის ჰიდროქლორიდი	225 285	0,5—4,0 0,5—7,0	280 149,77	
სალსოლიდინის ჰიდროქლორიდი	225 285	0,5— 4,0 0,5—15,0	264,43 115,56	
ემეტინის ჰიდროქლორიდი	229 280	0,5— 5,0 1,0—10,0	258,3 110,01	
მორფინის ჰიდროქლორიდი	285	3,0—30,0	3,34	
კოფეინი	284	5,0—20,0	50,11	
კოდეინის ფოსფატი . . .	284	5,0—40,0	40,56	
ჰიდროკოდონფოსფატი . .	28,	4,0--30,	30,23	
ტეკოდინი	282	10,0—50,0	36	
ქინაქინის სულფატი . . .	234 278 331	0,1—2,0 1 0—10,0 0,5—10,0	860 98,7 125,1	ეთანოლი
ქინაქინის ჰიდროქლორიდი	234 278 331	0,1—2,0 2,0—12,0 1,0—15,0	880 9 127,98	ეთანოლი
ამინოქინოლი	225 335	0,25—2,5 0,25—5,0	185,2 300,6	ეთანოლი
ტრიქომონაციდი	270 353	0,5—2,5 0,25—5,0	2,1 287	ეთანოლი
სოვკაინი	325	0,5—10	106.58	წყალი
ტინქოფენი	260 328	0,025—1,0 0,5—5,0	1356,17 316,14	ეთანოლი
ამინაზინი	255 305	0,25—2,5 1,0 —10,0	830 113,5	წყალი
დიპრაზინი	250 300	0.075—1,5 1,0—10,0	887,25 111,8	წყალი
დინეზინი	250 300	0,25—1,5 1,0—12,5	967,7 113,5	ეთანოლი

მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ორგანულ ნაერთთა ცალკეული ბირთვებისათვის დამახასიათებელია სპექტრის შთანთქმის სპეციფიკურობა, ზოგიერთ ნაერთს ულტრაიისფერ სპექტრში შთანთქმის მხოლოდ ერთი მაქსიმუმი აქვს, ზოგს კი ორი-სამი. გარდა ძირითადი ბირთვისა, შთანთქმის ხასიათზე არსებით გავლენას ახდენს გვერდით ჯაჭვში ჩანაცვლებული ფუნქციონალური ჯგუფების მდებარეობა და ბმის ბუნება. ამგვარად, სპექტრის შთანთქმა სპეციფიკური და დამახასიათებელია მოლეკულისათვის. და მისი შესწავლით შესაძლებელია ვიმსჯელოთ ორგანული ნაერთის თვისობრივ და რაოდენობრივ შედგენილობაზე, აგრეთვე დავადგინოთ პრეპარატის სიწმინდე, დაშლის პროდუქტების ბუნება და მათი კონცენტრაცია. ამასთანავე დიდი მგრძნობელობა და სიზუსტე, რომლითაც გამოირჩევა ეს მეთოდი, მას დიდ უპირატესობას აძლევს.

სპექტროსკოპია ინფრაწითელ უბანში

ინფრაწითელი (იწ) გამოსხივება მიეკუთვნება ელექტომაგნიტური სპექტრის იმ უბანს, რომელიც მდებარეობს ხილვად და მიკროტალღოვან უბნებს შორის. განსაკუთრებით გამოიყენება მისი უბანი 4000-დან 650 სმ$^{-1}$ (2,5—15 მკმ). უკანასკნელ წლებში დიდ ინტერესს იწვევს როგორც ახლო ინფრაწითელი უბანი (15000—4000 სმ$^{-1}$) ასევე გრძელტალღოვანი (700—200 სმ$^{-1}$).

100 სმ$^{-1}$-ზე ნაკლები სიხშირის ინფრაწითელი გამოსხივება ორგანული მოლეკულის მიერ შთაინთქმება და გარდაიქმნება ენერგიად. შთანთქმა კვანტირებულია და ამდენად მოლეკულის რხევის სპექტრი შედგება დისკრეტული ხაზებისაგან.

იწ-გამოსხივება 10 000—100 სმ$^{-1}$ ინტერვალში შთანთქმისას გარდაიქმნება ორგანული მოლეკულის მიერ რხევის ენერგიად. ეს შთანთქმაც კვანტირებულია, მაგრამ რხევის სპექტრი შედგება არა ხაზების არამედ უბნებისაგან, რადგან რხევითი ენერგიის ყველა ცვლილებას თან სდევს ენერგიის მრავალრიცხოვანი დისკრეტული მდგომარეობის ცვლილებანი. ასეთი ბრუნვა — რხევითი უბნებია განსაკუთრებით ისინი, რომლებიც გამოვლინდება 4000 და 650 სმ$^{-1}$-ზე.

სპექტრში უბნების მდებარეობა აღინიშნება ტალღის სიგრძით ან ტალღური რიცხვით. ადრე, იწ სპექტრომეტრიაში ტალღის სიგრძის ერთეულად მიჩნეული იყო მიკრონი ($\mu = 10^{-6}$მ), რაც შეიცვალა მიკრომეტრით (1 მკმ$=10^{-6}$). დღეისათვის ძირითადი ერთეულია ტალღური რიცხვი (სმ$^{-1}$ უკუსანტიმეტრი). ტალღის სიგრძე და ტალღური რიცხვი დაკავშირებულია შემდეგნაირად:

$$\text{სმ}^{-1} = \frac{1}{\text{მკმ}} \cdot 10^4$$

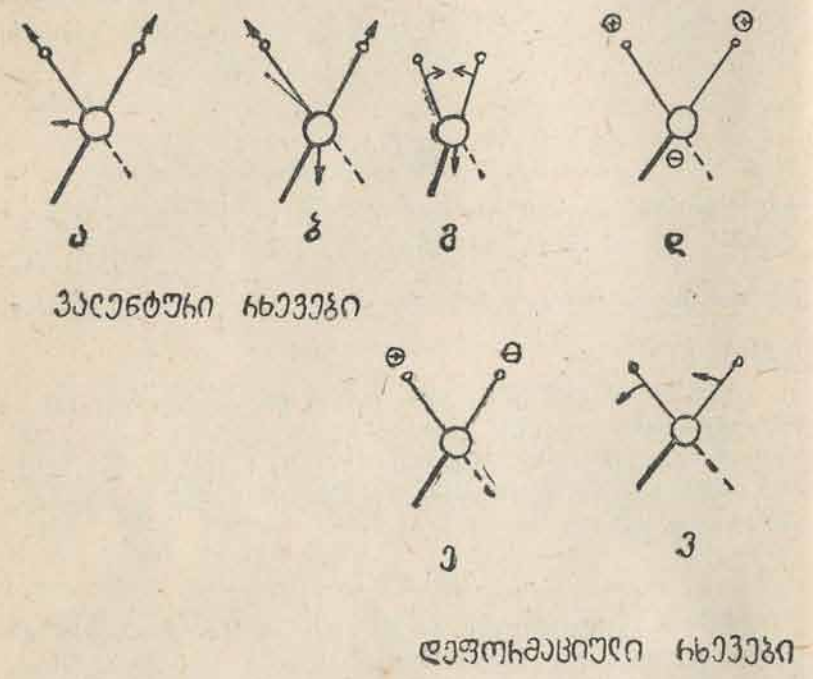
უნდა აღინიშნოს, რომ ტალღურ რიცხვს (ν) ხშირად უწოდებენ „სიხშირეს“, რაც პრინციპში სწორი არ არის იმიტომ, რომ ტალღური რიცხვი ტოლია $\frac{1}{\lambda}$, სიხშირე კი (ν) არის $\frac{c}{\lambda}$ (c — ხინათლის სიჩქარეა).

უბნების ინტენსივობა გამოიხატება გამტარებლობით (T) ან ოპტიკური სიმკვრივით (A). გამტარებლობა, ეს არის სხივური ენერგიის დამოკიდებულება, რომელიც გაატარა საკვლევმა ობიექტმა. ოპტიკური სიმკვრივე კი არის უკუგამტარებლობის უარყოფითი ათობითი ლოგარითმი

$$A = \lg(1/T).$$

არსებობს მოლეკულური რხევის ორი ტიპი: ვალენტური და დეფორმაციული. ვალენტური რხევა, ეს არის ბმის ღერძის გასწვრივ ისეთი რიტმული მოძრაობა, როდესაც მანძილი ატომთა შორის იზრდება ან მცირდება. დეფორმაციული რხევა შეიძლება მდგომარეობდეს საერთო ატომის ირგვლივ წარმოქმნილი ბმების კუთხეების ცვლაში ან ატომთა ჯგუფის მოძრაობაში მოლეკულის დანარჩენი ნაწილის მიმართ ისე, რომ არ ხდება ამ ჯგუფში ატომთა შერევა.

იწ სპექტრში გვხვდება მხოლოდ ისეთი რხევები, რომლებიც იწვევენ მოლეკულის დიპოლური მომენტის ცვლას. ცვლადი ელექტრული ველი, რომელიც წარმოიქმნება რხევისას, მუხტების განაწილების ცვლის დროს დაკავშირებულია ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებასთან.



ნახ. 8. CH_2-ჯგუფის რხევის ფორმები (+ და — მიუთითებს მოძრაობის მიმართულებაზე ნახაზის პერპენდიკულარული სიბრტყის მიმართ)

ძირითადი რხევები მიმდინარეობს მოლეკულის სიმძიმის ცენტრის გადანაცვლების გარეშე. ატომების შემცველი არასწორხაზოვანი მოლეკულების რხევის ხარისხი განისაზღვრება — 3n—6, სწორხაზოვანი — 3n—5. წყლის არასწორხაზოვანი სამატომიანი

მოლეკულის სამი ძირითადი რხევა შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:

ნახ. 9. სიმეტრიული, ვალენტური ($\nu_s OH$) 3652 $სმ^{-1}$

ნახ. 10. ასიმეტრიული ვალენტური ($\nu_{as} OH$) 3756 $სმ^{-1}$

ნახ. 11. მაკრატლისებური ($\delta_s HOH$) 1596 $სმ^{-1}$

CO_2-ის 3 ატომიან სწორხაზოვან მოლეკულას გააჩნია 4 ძირითადი რხევა [(3×3)—5]:

ნახ. 12. სიმეტრიული ვალენტური ($\nu_s CO$), 1340 $სმ^{-1}$

ნახ. 13. ასიმეტრიული ვალენტური ($\nu_{as} CO$) 2350 $სმ^{-1}$

ნახ. 14. მაკრატლისებური (დეფორმაციული) ($\delta_s CO_2$) 666 $სმ^{-1}$

ნახ. 15. მაკრატლისებური (დეფორმაციული) ($\delta_s CO_2$) 666 $სმ^{-1}$

⊕ და ⊖ მიუთითებს მოძრაობის მიმართულებაზე

ნახაზის ზედაპირის მიმართ პერპენდიკულარულ ინფრაწითელ სპექტრში, სიმეტრიული ვალენტური რხევები (1) არააქტიურია, იმიტომ, რომ ის არის დაკავშირებული მოლეკულის დიპოლური მომენტის ცვლასთან. დეფორმაციული რხევები (3) და (4) ეკვივალენტურია. მათ ერთი და იგივე სიჩქარე აქვთ და იწოდებიან ორმაგად გადაგვარებულად.

ქვემოთ მოცემულია ზოგიერთი ბმის ვალენტურ რხევათა შთანთქმის უბნის გამოთვლილი მაჩვენებლები (სმ$^{-1}$):

C—C, C—O, C—N—1300—800,

C=O, C=N, N=O—1900—1500,

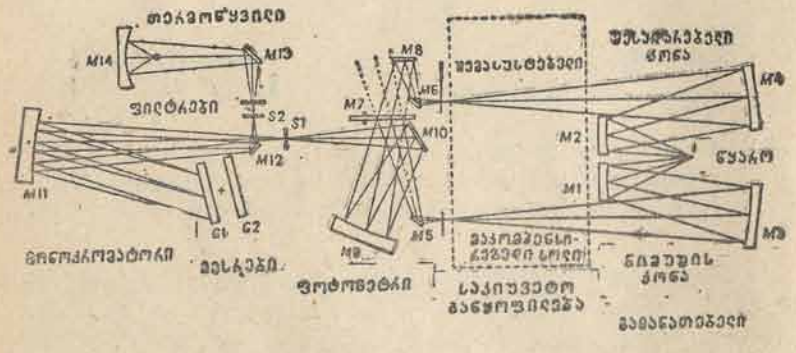
C≡C, C≡N, —2300—2000,

C—H, O—H, N—H—3800—2700.

ფუნქციური ჯგუფები, რომლებთაც გააჩნიათ დიდი დიპოლური მომენტი, ინფრაწითელ უბანში იძლევიან ძლიერი შთანთქმის ზოლებს.

აპარატურა

თანამედროვე ორსხივიანი ინფრაწითელი სპექტროფოტომეტრი შედგება 5 ძირითადი ელემენტისაგან: გამოსხივების წყარო, კიუვეტის გამყოფი, ფოტომეტრი, მონოქრომატორი და მიმღები (იხ. ნახ. 16).



ნახ. 16. ორსხივიანი ინფრაწითელი სპექტროფოტომეტრის ოპტიკური სქემა

ინფრაწითელი რადიაციის გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს ნერსტის წკირი (რომელიც მზადდება ცირკონიუმის, თორიუმის და

ცერიუმის ჟანგეულებისაგან და მაკავშირებელი ნაერთებისაგან) რომელიც ხურდება ელექტრული დენით 1 000-დან 1 800°C-მდე. გამოსხივება M_1 და M_2 სარკეებით იყოფა ორ ნაკადად. ორივე ნაკადი — შესადარებელი და ნიმუშის — ფოკუსირდება M_3 და M_4 სარკეებით კიუვეტის განყოფილებაში. შესადარებელი სხივი გაივლის სინათლის შემასუსტებელს, აირეკლება M_6 და M_8 სარკეებით და მიემართება M_7 მოძრავი სექტორული სარკისაკენ. მოდულატორი, რომელიც მონაცვლეობით ან აირეკლავს შესადარებელ ნაკადს, გამოყავს რა ის ოპტიკური სისტემიდან, ან ატარებს M_9 მაფოკუსირებელი სარკისაკენ. შესადარებელი ნაკადი M_{10} სარკით მიემართება S_1 მონოქრომატორის შემავალი ნაპრალისაკენ. ნიმუშის ნაკადი გაივლის მაკომპენსირებელ სოლს და აირეკლება M_5 სარკით მბრუნავ სექტორულ სარკეზე — M_7, რომელიც მონაცვლეობით ან ატარებს სინათლის ნაკადს, გამოყავს რა ის ოპტიკური სისტემიდან, ან აირეკლავს M_9 სარკის მიმართულებით. აქედან ის ხვდება M_{10} სარკეზე და S_1 შემავალ ნაპრალში.

S_1 მონოქრომატორის ნაპრალში მუდმივად ფოკუსირდება ან შესადარებელი ნაკადი, რომელიც გადის M_7 სექტორულ სარკეში, ან ნიმუშის ნაკადი, რომელიც აირეკლება M_7 სარკით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ნიმუშის და შესადარებელი ნაკადები ირევა მბრუნავ სექტორში ერთ ნაკადად, რაც იწვევს მიმღებში სიგნალების მონაცვლეობას სიხშირით, რომელიც ტოლია M_7 სარკის ბრუნვის სიჩქარისა. როდესაც ნაკადებს აქვთ ერთნაირი ინტენსივობა, ხელსაწყო უჩვენებს „ოპტიკურ ნულს". შერეული ნაკადი გაივლის რა S_1 მონოქრომატორის ნაპრალს, ხვდება M—11 სარკეზე, ეს უკანასკნელი კი მას აგზავნის ამრეკლავ დიფრაქციულ მესერზე G_1. სადაც ნაკადი დისპერგირდება სიხშირეებად და ისევ ხვდება M—11 სარკეზე, შემდეგ M_{12}-ზე და გამომავალ ნაპრალში. ნაპრალ S_2-ზე დაცემული სიხშირეების დიაპაზონი განისაზღვრება S_1 ნაპრალის სიფართით და მესერის მადისპერგირებელი უნარით.

მონოქრომატორის გამომავალი ნაპრალის შემდეგ ნაკადი აირეკლება M_{13} ბრტყელი სარკით და ხვდება M_{14} ელიფსურ სარკეზე, რომლის ერთ ფოკუსზე გამომავალი ნაპრალია, მეორეზე — მიმღები.

მიმღები (დეტექტორი) — ეს არის ხელსაწყო, რომელიც ზომავს გამოსხივების ენერგიას მისი სითბური ეფექტის მიხედვით.

ფოტომეტრიული სოლის გადაადგილება რეგისტრირდება კალმით ქაღალდზე.

ნიმუშის მომზადება

აირების ან დაბალი დუღილის ტემპერატურის მქონე სითხეების სპექტრები შეიძლება მიღებულ იქნეს ვაკუუმირებულ კიუვეტში ნიმუშის შეყვანით. სუფთა სითხე უმეტესად გამოიკვლევა მარილის ფირფიტებში. საჭიროა 1—10 მგ ნიმუში. შესადარებლად გამოყენებულია მაკომპენსირებელი კიუვეტა, რომელიც შეიცავს სუფთა გამხსნელს. ამგვარად მიღებული სპექტრი წარმოადგენს გახსნილი ნივთიერების სპექტრს. გამოყენებული გამხსნელი უნდა იყოს მშრალი და საკმაოდ გამჭვირვალე საჭირო უბანში. როდესაც საჭიროა სრული სპექტრის გადაღება, გამოიყენებენ რამოდენიმე გამხსნელს.

მყარი ნივთიერებების გამოკვლევა ხდება პასტების სახით (რომელიც მიიღება იმერსიულ ზეთთან შერევით. მაგ. ვაზელინის ზეთი) რაც საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნეს სპექტრი მთელ უბანში 4000-დან 250 სმ$^{-1}$ უბნების გადაფარვის გარეშე.

საუკეთესო სპექტრები მიიღება განზავებული ხსნარებიდან არაპოლარულ გამხსნელებში.

სპექტრების ინტერპრეტაცია

IR სპექტრების ინტერპრეტაციის დროს მკაცრი წესები არ არსებობს. წინასწარი კვლევისას მნიშვნელოვანია ორი უბანი: 4000—1300 და 909—650 სმ$^{-1}$. სპექტრის მაღალსიხშირიანი უბანი იწოდება ფუნქციონალური ჯგუფების უბნად. ამ უბანში შეინიშნება ისეთი ფუნქციონალური ჯგუფების ვალენტური რხევების მახასიათებელი სიხშირეები, როგორიცაა OH, NH და C=O. ზონის არ არსებობა რომელიმე უბანში, დაკავშირებული რაიმე ფუნქციონალურ ჯგუფთან, გამოიყენება როგორც დადასტურება მოლეკულაში ამ ჯგუფის არ არსებობისა.

თუ 900—650 სმ$^{-1}$ უბანში არ არის შთანთქმის ძლიერი ზონა—ე. ი. სტრუქტურა არა არომატულია. არომატული და ჰეტეროარომატული ნაერთების სპექტრებში ზემოთ აღნიშნულ უბანში შეინიშნება შთანთქმის ძლიერი ზონა.

ფართე, ზომიერი ინტენსივობის შთანთქმის ზონები დაბალი სიხშირს უბანში — მიუთითებს კარბოქსილის ჯგუფის, დიმერის, ამინო ან ამიდო დაჯგუფების არსებობაზე.

სპექტრის უბანს 1300—900 სმ$^{-1}$-ის ფარგლებში უწოდებენ „თითების ანაბეჭდის“ უბანს. ამ უბანში შთანთქმას ხშირად რთული სახე აქვს და განპირობებულია რხევების ურთიერთქმედებით. სპექტრის აღნიშნული უბანი მეტად მნიშვნელოვანია. მაგ. თუ სპექტრის მაღალი სიხშირის უბანში სპირტებსა და ფენოლებში ვლინდება O—H ჯგუფის შთანთქმა, შთანთქმის ზონის მდებარეობა C-C-O 1260—1000 სმ$^{-1}$ უბანში ხშირად საშუალებას იძლევა O-H ჯგუფის შთანთქმა მივაკუთვნოთ უკვე განსაზღვრული სტრუქტურის სპირტებს ან ფენოლებს. ამ უბანში შთანთქმა ყოველი მოლეკულისათვის ინდივიდუალურია.

ნივთიერების იგივეობის დადგენა არ მოითხოვს შთანთქმის სპექტრის ანალიზს, იგი შეიძლება მოხდეს გამოსაკვლევი ნივთიერების სპექტრის შედარებით სტანდარტის სპექტრთან. ერთნაირ პირობებში მიღებული სპექტრების სრული დამთხვევა მიგვითითებს მათ იგივეობაზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ სტერეოიზომერებს თანხვედრილი სპექტრი აქვთ. ამასთანავე, ერთი და იგივე ნივთიერება სხვადასხვა კრისტალურ მოდიფიკაციაში (პოლიმორფიზმი) ზოგჯერ განსხვავებულ სპექტრს იძლევა. ამ შემთხვევაში უნდა შედარდეს ერთი და იგივე გამხსნელში ხსნართა სპექტრი. არსებობს დამოკიდებულება შთანთქმის ინტენსივობასა და კონცენტრაციას შორის, რაც შესაძლებელს ხდის გამოსაკვლევი ნივთიერების რაოდენობრივ განსაზღვრას.

ცხრილი 25

ზოგიერთ ნივთიერებათა ინფრაწითელი სპექტრის შთანთქმის მაქსიმუმები

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება	ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
660	პილოკარპინი (გ)	748	კლემიზოლი (ა)
693	ოქსაზეპამი (გ)		დიხეზინი (ბ)
695	ფენამინი (ა)		დიფენინი (გ)
	მეფოლინი (ბ)		პროპაზინი
696	მეფენთერმინი (ბ)	750	აპრესინი (ა)
698	ცეტალკონიუმის ქლორიდი (ბ)		ფენოთიაზინი (გ)
		752	აცეტანილიდი (ა)
	პერვიტინი (ბ)		ამიტრიპტილინი (ა)
699	ავიომარინი (ა)		აპომორფინი (გ)
700	ლობელინი (ბ)		ქლორციკლიზინი (გ)
	ფენილინი (ბ)	755	ბუტადიონი (გ)
	ნორეფედრინის ჰიდრო-ქლორიდი (ა)		თიორიდაზინი
		757	მეფოლინი (ბ)
	ფსევდოეფედრინის ჰიდროქლორიდი (ა)		პროპაზინი
		758	სალიცილის მჟავა (ა)
702	მეთილეფედრინი (ა)	760	ქლორდიაზეპოქსიდი
	ნიტრაზეპამი (ბ)	761	ფსევდოეფედრინის ჰიდ-როქლორიდი
703	ეფედრინი (ა)		
708	ბენზოის მჟავა (ა)	764	სტრიქნინი (ბ)
	ციკლიზინი (ა)	765	ამიტრიპტილინი (ბ)
711	მეფენთერმინი (ბ)		კლემიზოლი (ბ)
712	ნიკოტინი (ა)	766	ფენილინი (გ)
721	დივასკოლი (ბ)	770	ანტიპირინი (ბ)
722	ცეტალკონიუმის ქლორიდი (ბ)		ტრიპელენამინის ჰიდ-როქლორიდი (გ)
735	ფენოთიაზინი (ა)	775	ამიტრიპტილინი (გ)
737	ფენამინი (ბ)	779	8-ოქსიქინოლინი (ბ)
740	ბენზილნიკოტინატი	780	ნაფტიზინი (ა)
741	იოქიმბინ ჰიდროქლო-რიდი (ბ)	790	აპომორფინი (გ)
		791	ნაფტიზინი (ბ)
742	მეთილეფედრინი (ა)	795	ამიზილი (ა)
744	ნიკოტინამიდი (ბ)	799	დიადრილი (გ)
	ნიკოტინის მჟავა (ბ)	802	ქლორობუთანოლი (ა)
745	კოფეინი (ბ)	805	მორფინი (ა)
	ციკლიზინი (გ)	808	ეთიონამიდი (ბ)
	ეფედრინი (გ)	810	დეზოპიმონი (ბ)
	იმიზინი (გ)		ნიკოტინი (გ)
	მეფენეზინი (გ)	815	პრიმახინი (ბ)
747	ამინაზინი (ბ)	820	გორდენინი (ბ)
	დეზიპრამინი (ბ)	828	დიენესტროლი (გ)
	პერვიტინი (ა)	830	ოქსაზეპამი (გ)

* შთანთქმის მაქსიმუმები მოცემული სიხშირის ზრდის მიხედვით და აღნიშნულია ასოებით ა, ბ, გ-ინტენსივობის შემცირების მიხედვით

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება	ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
832	ბამეტანი (ა)	1051	ტესტოსტერონი (ბ)
	გალოპერიდოლი (ა)	1052	კოდეინი (ა)
838	ქლორალჰიდრატი (ა)	1054	ამიზილი (გ)
845	ქლორობუთანოლი (ბ)	1055	დიგოქსინი (გ)
865	ეთიონამიდი (ბ)	1061	ლევომიცეტინი (ბ)
872	ტესტოსტერონი (გ)		ტესტოსტერონი (ბ)
892	დექსამეტაზონი (გ)	1066	ბამეტანი (ბ)
912	პრედნიზონი (გ)	1068	პაპავერინი (ბ)
913	ჰექსამეტონიუმის ბრო-მიდი (ა)	1069	მეპროტანი (ბ)
		1070	მეტრონიდაზოლი (გ)
917	მეთილპენტინოლი (ა)	1071	სტროფანტინ K (ა)
945	ჰექსამეტონიუმის ბრომი-დი (გ)	1075	დიგოქსინი (ა)
			ურეთანი (გ)
	მორფინი (გ)	1078	ქლორალჰიდრატი (ბ)
946	პარალდეჰიდი (ბ)	1082	ჰიდროქსიზინი (ა)
950	აცეტილქოლინის ქლო-რიდი (ა)	1083	მეფოლინი (ა)
		1084	დეზოპიმონი (გ)
953	ქოლინის ქლორიდი (გ)	1088	აცეტილქოლინქლორი-დი (გ)
955	აცეტილქოლინის ქლორი-დი (ბ)		
		1089	ბუკარბანი (გ)
965	დეკამეტონიუმის ბრომი-დი (ბ)	1090	ფარინგოსეპტი (ა)
		1095	პარალდეჰიდი (ა)
970	ჰექსამეტონიუმის ბრომი-დი (გ)	1104	ატროპინის მეთილ-ბრომიდი (გ)
			პილოკარპინი (გ)
985	აპომორფინი (გ)		
990	დიმერკაპროლი (გ)	1106	კოკაინი (გ)
995	მეთილპენტინოლი (გ)		ტრიფტაზინი (ა)
1000	ფსევდოეფედრინის ჰიდ-როქლორიდი (გ)	1108	ბამეტანი (გ)
		1110	ფოლედრინის სულფა-ტი (ა)
1005	ჰიდროქსიზინი (ბ)		
1020	დიგოქსინი (გ)		ბენზილნიკოტინატი (ბ)
1022	დიმერკაპროლი (ა)	1111	მეფენტერმინი (ა)
	ნიკოტინი (გ)		კლომიფენი (ბ)
1030	ქინინი (გ)	1115	ლობელინი (გ)
1031	ფსევდოეფედრინის ჰიდ-როქლორიდი (ბ)	1118	მორფინი (გ)
			სპარტეინის სულფატი (ა)
1032	ჰომატროპინი (ა)	1120	ფარინგოსეპტი (ა)
1033	თეკოდინი (გ)		რეზერპინი (ა)
1035	ატროპინი (ბ)		d-ტუბოკურანინის ქლო-რიდი (გ)
	სტროფანტინ K (ბ)		
1039	მეთილეფედრინი (ა)	1121	ნალორფინის ჰიდრო-ბრომიდი (გ)
1040	ქინინი (გ)		
1041	ეთინამატი (ბ)	1126	მეთილპენტინოლი (ბ)
		1129	სულგინი (ა)
	მეფენეზინი (ბ)		
1042	ჰიდროკორტიზონი (გ)	1130	ჰიდროქსიზინი (ა)
1050	დიმერკაპროლი (ბ)	1142	აპრესინი (გ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1143	სულფამერაზინი (ა)
1144	სტრეპტოციდი (ა)
1145	დიქლორთიაზიდი (ბ)
	სულფაცილ-ნატრიუმი (ა)
1147	ბუკარბანი (ბ)
1148	ლიდოლი (გ)
	სულფაფენეზოლი (ა)
	დიტილინი (ბ)
1149	მეთილტესტოსტერონი (ბ)
1150	ატროპინის მეთილბრომიდი (გ)
	ქლორობუთანოლი (გ)
	სულფაზინი (ა)
1151	გალოპერიდოლი (ბ)
1152	სულფაპირიდაზინი (ა)
1153	ატროპინი (გ)
1154	ჰოსციამინი (ბ)
	ნეოსტიგმინის ბრომიდი (გ)
1155	ნალორფინის ჰიდრობრომიდი (გ)
1156	მეთილპენტინოლი (ბ)
	პირიდოსტიგმინის ბრომიდი (ბ)
1157	ბუტამიდი
1158	ციკლომეთიაზიდი (ა)
1159	ქლორპროპამიდი (ბ)
1160	ფარინგოსეპტი (ა)
	დიქლორთიაზიდი (ბ)
	იოქიმბინის ჰიდროქლორიდი (გ)
1165	მერიდილი (ბ)
	სტილბესტროლი (გ)
1166	ლიდოლი (გ)
1167	დიაკარბი (ა)
1168	პილოკარპინი (ბ)
1170	ანესთეზინი (გ)
	პარალდეჰიდი (ა)
	სახარინი (ბ)
1172	ჰომატროპინი (ა)
1175	დიქლორთიაზიდი (ა)
1182	ჰექსაქლოროფენი (ბ)
1183	აცეტილსალიცილის მჟავა (ა)
1185	ფოლედრინის სულფატი (გ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1187	მეტრონიდაზოლი (ა)
1190	ბრუცინი (ბ)
1197	იოქიმბინის ჰიდროქლორიდი (გ)
1198	ვიდექსი (ბ)
	სტილბესტროლი (ა)
1199	დიენესტროლი (ა)
1200	ნოქსირონი (გ)
	მერიდილი (გ)
	ფურადონინი (გ)
	ფიზოსტიგმინი (ა)
1207	პირიდოქსინის ჰიდროქლორიდი (გ)
1210	ნორადრენალინის ტარტრატი (ბ)
1211	ლობელინი
	ნაფტიზინი (გ)
1212	ვიდექსი (ა)
1215	ნეოსტიგმინის ბრომიდი (ბ)
1217	გალოპერიდოლი (გ)
1218	ლიდოლი
1219	ფენილინი (გ)
1220	რეზერპინი (ა)
1221	თეობრომინი (ბ)
1222	დიპრაზინი (ბ)
1225	იმიზინი (გ)
	აკრიქინი (ა)
	ტესტოსტერონი (გ)
1226	ფურაზოლიდონი (ა)
1228	ბამეტანი (ა)
	დეზიპრამინი (გ)
	ემეტინი (გ)
	d-ტუბოკურარინის ქლორიდი (ბ)
1230	პრიმაქინი (გ)
	სულგინი (ბ)
1231	ამიზილი (ბ)
1232	ჰიდროკორტიზონი (გ)
1235	ქინინი (ა)
1239	ფურადონინი (ბ)
1240	ქლორპროკაინი (ბ)
	ამინაზინი (გ)
1241	დიენესტროლი (გ)
1243	მორფინი (ბ)
	ფენაცეტინი (ა)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
	ფიზოსტიგმინი (ა)
1245	კლომიფენი (გ)
	დინეზინი (ვ)
	მეფენეზინი (ა)
	პროპაზინი (გ)
1249	პირიდოსტიგმინის ბრომიდი (გ)
1252	ეთინილესტრადიოლი (ა)
	გორდეინი (ა)
1253	ადრენალინი (ა)
1255	თეკოდინი (ა)
1256	ემეტინი (ბ)
1258	ქინინი (ა)
1261	პემპიდინი (ა)
1262	ოქსიმეთილპირიდინის ჰიდროტარტრატი (ა)
1264	ბამეტანი (გ)
	სულფაცილ-ნატრიუმი (ბ)
1265	აპომორფინი (ა)
1268	კოდეინი (ბ)
	მეზატონი (ბ)
1271	მერკაზოლილი (გ)
1272	ბემეგრიდი (ბ)
1273	პაპავერინი (გ)
	პირიდოქსინის ჰიდროქლორიდი (ბ)
1274	ადრენალინი (ა)
	ნოვოკაინი (ა)
1275	კოკაინი (ა)
1276	ჰექსაქლოროფენი (ბ)
1278	ბენზილნიკოტინატი (ა)
1280	ანესთეზინი (ა)
	ტუბოკურარინის ქლორიდი
1283	ქლორციკლიზინი (გ)
1285	ბრუცინი (ბ)
	ციკლიზინი (გ)
	ეთინილესტრადიოლი (ბ)
	კორდიამინი (გ)
1288	მეთილდოფა (ბ)
	სალიცილის მჟავა (გ)
1290	პ-ამინობენზოის მჟავა (გ)
1294	ბენზოის მჟავა (ბ)
1296	დივასკოლი (ბ)
1298	ეთინილესტრადიოლი (ბ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1300	ნიკოტინამიდი (ა)
	ნიკოტინის მჟავა (ა)
	ნორადრენალინის ტარტრატი (ა)
	ბუტადიონი (ბ)
1301	პ-ამინოსალიცილის მჟავა (ბ)
1304	ნალორფინის ჰიდრობრომიდი (გ)
1305	აცეტილსალიცილის მჟავა (გ)
	ქლორთიაზიდი (ბ)
	ოქსიმეთილპირიდინის ჰიდროტარტრატი (ა)
1308	პემპიდინი (ა)
	დიტილინი (გ)
1313	დიაზეპამი (გ)
	სულფაფენაზოლი (ბ)
1315	ამიდოპირინი (ბ)
1316	დიაკარბი (გ)
1318	დიქლორთიაზიდი (ა)
1323	სულფაზინი (გ)
1324	ნიკოტინამიდი (ა)
	ნიკოტინის მჟავა (ა)
1330	ბენზოის მჟავა (გ)
	დიენესტროლი (გ)
	რეზერპინი (ბ)
1335	იზონიაზიდი (გ)
	მეტაკვალონი (გ)
1336	დიქლოთიაზიდი (ა)
	ბუტამიდი (ბ)
1337	სოვკაინი (გ)
1340	ურეთანი (ბ)
1342	ქლორთიაზიდი (გ)
1343	ციკლომეთიაზიდი (ბ)
1345	ფურაზოლიდონი (ა)
	ფურადონინი (ა)
1350	ბარბიტურის მჟავა (გ)
1351	ლევომიცეტინი (გ)
1352	ლიზერგინის მჟავა (ბ)
	ნიტრაზეპამი (ა)
1355	პამაქინი (გ)
1358	ჰექსობარბიტალი (ბ)
	პროგესტერონი (გ)
1363	დიაკარბი (ბ)
	პ-ამინოსალიცილის მჟავა (ბ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1365	მეთილფენობარბიტალი (ბ)
	მეტრონიდაზოლი (ბ)
1370	ეტინამატი (გ)
1372	ქინგამინი (ბ)
	ოქსიქლოროქინი (გ)
	ლიზერგინის მჟავა (ბ)
1374	მეთილდოფა (გ)
1375	დიალი (ბ)
	დიჰიდრალაზინი (გ)
	მეთილტესტოსტერონი (გ)
1376	აპრობარბიტალი (გ)
1377	ატროპინის მეთილბრომიდი (ა)
1378	გლიბუტიდი (ა)
1380	ბარბიტალი (ბ)
1383	მეთილერგომეტრინის მალეატი (გ)
1385	ურეთანი (გ)
1388	კარბამაზეპინი (გ)
	კარბრომალი (ბ)
1390	ჰექსობარბიტალი (ბ)
1392	პ-ამინოსალიცილის მჟავა
	სტრიქნინი (ბ)
1393	პამაქინი (ბ)
	პიპერაზინის ციტრატი (ბ)
1394	მეფენთერმინი (გ)
1396	ეთიონამიდი (ბ)
1397	სოვკაინი (გ)
1399	ციკლოსერინი (ბ)
1400	ბრუცინი (ბ)
	კლემიზოლი (ბ)
1402	პემპიდინი (ა)
	ამინაზინი (გ)
	მეთილდოფა (გ)
	თიორიდაზინი (ბ)
1406	ფენობარბიტალი (ბ)
1408	მეპროტანი (გ)
1409	8-ოქსიქინოლინი (8-ჰიდროქსიქინოლინი) (გ)
1412	ბარბიტურის მჟავა (გ)
	კორდიამინი (გ)
	ნორადრენალინის ტარტრატი (გ)
1418	დიმერკაპროლი (გ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
	ეთიონამიდი (ა)
1421	სპარტეინის სულფატი (ბ)
1428	ტრიამტერენი (ა)
1430	ციკლობარბიტალი (გ)
1431	მერიდილი (ბ)
1435	ფურადონინი (გ)
1436	იოქიმბინის ჰიდროქლორიდი (გ)
1437	დიალი (გ)
	კორდიამინი (ბ)
1439	აპრობარბიტალი (ბ)
	აპრესინი (ბ)
1442	ჰექსაქლოროფენი (ა)
	პიპერაზინის ციტრატი (გ)
1443	პარაცეტამოლი (გ)
1445	ლიზერგინის მჟავა (გ)
	ფენთოიაზინი (გ)
	თეოფილინი (გ)
1446	სალიცილის მჟავა (ბ)
1447	ციკლიზინი (ბ)
	ოქსიქლოროქინი (ბ)
	მეთილეფედრინი (ბ)
	სპარტეინის სულფატი (ბ)
1448	ქინგამინი (გ)
	ავიომარინი (გ)
	მორფინი (ბ)
	ოქსიკოდონი (გ)
1450	ბრუცინი (ბ)
	ცეტალკონიუმის ქლორიდი (ა)
1452	ფენამინი (გ)
	იმიზინი (ბ)
1455	ამინაზინი (ა)
	ეფედრინი (ბ)
1456	დინეზინი (ა)
1458	ქლორდიაზეპოქსიდი (ბ)
	დიჰიდრალაზინი (ბ)
	პამაქინი (ა)
1459	დიპრაზინი (ა)
	ფსეუდოეფედრინის ჰიდროქლორიდი (გ)
1460	აპომორფინი (ბ)
	კლემიზოლი (ბ)
	კორდიამინი (გ)
	თიორიდაზინი (ა)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1462	აკრიქინი (ბ)
	პროპაზინი (ა)
1463	ემეტინი (გ)
1464	მეზატონი (ბ)
1465	მეტაკვალონი (გ)
1466	მერკაზოლილი (ა)
	ნალორფინის ჰიდრობრომიდი (ბ)
1467	მეტრონიდაზოლი (გ)
1475	აცეტილქოლინის ქლორიდი (გ)
	პერვიტინი (გ)
	მორფინი (გ)
	სულფაპირიდაზინი (ა)
1476	ფენთოიაზინი (ბ)
1477	ქოლინის ქლორიდი (ბ)
1479	დეკამეტონიუმის იოდიდი (ა)
1480	სტრიქნინი
1481	ჰექსამეტონიუმის ბრომიდი (ბ)
1482	დეზიპრამინი (ა)
1484	დიაზეპამი (ბ)
	ფოლის მჟავა (გ)
1485	იმიზინი (ა)
	მეტრონიდაზოლი (ბ)
	სულფაპირიდაზინი (ა)
1486	ანტიპირინი (გ)
1487	დეზოპიმონი (ა)
1492	ბიგუმალი (ბ)
1494	ბამეტანი (გ)
1495	d-ფენამინი (სულფატი) (ბ)
	ფიზოსტიგმინი (ა)
1496	ტრიპელენამინის ჰიდროქლორიდი (ა)
1499	ნაფტიზინი (ბ)
1500	ადრენალინი (ა)
	ბრუცინი (ა)
	კოდეინი (გ)
1501	თეკოდინი (ბ)
1505	ეთინილესტრადიოლი (ა)
	ნალორფინის ჰიდრობრომიდი (ა)
1507	პაპავერინი (ა)
	სულფაფენაზოლი (ბ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1509	8-ოქსიქინოლინი (ა)
1510	ქინინი (ბ)
1510	დინესტროლი (ბ)
	ფენაცეტინი (ბ)
1514	ემეტინი (ა)
	ქინიდინი (ბ)
1515	სტილბესტროლი (ბ)
1516	d-ტუბოკურარინის ქლორიდი (ა)
1517	ვარფარინ-ნატრიუმი (ა)
	ფოლედრინის სულფატი (ბ)
	ნოვოკაინამიდი (ა)
1525	ქლორპროგუანილი (ა)
1526	ლევომიცეტინი (გ)
	ციკლოსერინი (ბ)
1527	ქლორპექსიდინი (ა)
1529	აპრესინი (ა)
1530	გლიბუტიდი (ბ)
1534	ბიგუმალი (ა)
1536	პირიდოქსინის ჰიდროქლორიდი (ა)
1537	დიჰიდრალაზინი (გ)
	ფენფორმინი (ბ)
	სულგინი (ბ)
1538	ქინგამინი (ბ)
1543	სოვკაინი (ბ)
1544	რიბოფლავინი (ა)
1548	დიაკარბი (გ)
1550	ციკლოსერინი (ბ)
	თეობრომინი (გ)
1552	იზონიაზიდი (ბ)
	სულფაცილნატრიუმი (გ)
	ბუტამიდი (ბ)
1553	ქლორპროპამიდი (გ)
1555	ფენაცეტინი (გ)
1557	აკრიქინი (ბ)
1559	სულფამერაზინი (გ)
1560	თეოფილინი (გ)
1561	ამინაზინი (გ)
1563	პარაცეტამოლი (ბ)
1565	მეტაკვალონი (გ)
1566	კოლხიცინი (ბ)
1568	ფენფორმინი (ა)
1570	მერკაზოლილი (ბ)
1572	პრიმაქინი (გ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
	ტრიამტერენი (ა)
1573	ქინგამინი (ა)
	ქლორტეტრაციკლინი (ბ)
	დემეთილქლორტეტრა-ციკლინი (ბ)
1575	დიჰიდრალაზინი (ბ)
	ბიგუმალი (გ)
	რიბოფლავინი (ბ)
1577	ციკლოსერინი (ა)
	სულფაზინი (ბ)
1579	ოქსიქლოროქინი (ა)
1580	ტეტრაციკლინის ჰიდრო-ქლორიდი (ბ)
1582	d-ფენამინი (სულფა-ტი) (გ)
1585	აპრესინი (გ)
1588	ეთიონამიდი (ბ)
1589	კოლხიცინი (გ)
1590	კლომიფენი (ა)
	ფენფორმინი (გ)
1592	ლიზერგინის მჟავა (ა)
	მეზატონი (ა)
	პიპერაზინის ციტრატი (ა)
	სულფამერაზინი (ბ)
	სულფაფენაზოლი (გ)
	ტრიპელენამინის ჰიდრო-ქლორიდი (ბ)
1593	სტრეპტოციდი (ბ)
1594	კარბამაზეპინი (გ)
1595	ქლორპროკაინი (ა)
	პრიმაქინი (ბ)
1596	სოვკაინი (ა)
1597	პ-ამინობენზოის მჟავა (ა)
1598	აცეტანილიდი (ა)
	ანესთეზინი (ბ)
	ციკლომეთიაზიდი (ა)
1599	ბუკარბანი (ბ)
	მეტაკვალონი (ბ)
	ნოვოკაინამიდი (ა)
	ვარფარინ-ნატრიუმი (ბ)
1600	კარბრომალი (გ)
	დიქლოთიაზიდი (ბ)
	მეთილდოფა (ა)
1601	ფოლის მჟავა (ბ)
1602	ქლორპროგუანილი (ბ)
	ნორადრენალინის ტარ-ტრატი (გ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1605	კლომიფენი (გ)
	ნოვოკაინი (ბ)
1608	დიჰიდრალაზინი (ა)
	ოქსიქლოროქინი (გ)
	დივასკოლი (ა)
1610	პრედნიზოლონი (ბ)
1611	პრიმაქინი (ა)
1612	ტეტრაციკლინის ჰიდრო-ქლორიდი (ა)
	ტრიამტერენი (ა)
1614	ქლორპროგუანილი (ბ)
1615	ნაფტიზინი (ა)
	ნიტრაზეპამი (ბ)
	პროგესტერონი (გ)
1616	დემეთილქლორტეტრა-ციკლინი (ა)
	დექსამეტაზონი (ბ)
1617	ქლორტეტრაციკლინი (ა)
1619	ქინიდინი (გ)
	ქინინი (გ)
1620	სულგინი (ა)
1624	სტრეპტოციდი (გ)
1625	ქლორდიაზეპოქსიდი (ა)
	ქლორპროკაინი (გ)
	აპრესინი (გ)
	აკრიქინი (გ)
	ფენფორმინი (გ)
1627	ქოლინის თეოფილი-ნატი (ა)
	დეკამეტონიუმის იოდი-დი (ა)
	კორდიამინი (ა)
1628	იზონიაზიდი (გ)
1630	ჰექსამეტონიუმის ბრო-მიდი (გ)
1632	ნოვოკაინამიდი (ბ)
1633	დიჰიდრალაზინი (ბ)
1634	გლიბუტიდი (გ)
1635	ბუკარბანი (გ)
	ბიგუმალი (ბ)
1636	ქოლინის ქლორიდი (ა)
1638	პ-ამინოსალიცილის მჟა-ვა (გ)
1639	სოვკაინი (ბ)
1240	ფოლის მჟავა (გ)
	ჰიდროკორტიზონი (ა)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
	ვარფარინ-ნატრიუმი (გ)
1641	რიბოფლავინი (გ)
1643	მეთილერგომეტრინის მა-ლეატი
1649	ბრუცინი (ა)
1650	პარაცეტამოლი (ა)
	პრედნიზოლონი (ა)
	ტესტოსტერონი (ა)
1652	ალანტოინი (ბ)
1655	დექსამეტაზონი (ა)
	ფენაცეტინი (ა)
1667	მეთილტესტოსტერონი (ა)
	სალიცილის მჟავა (გ)
1658	კოფეინი (ა)
	ბუტამიდი (ა)
1659	იზონიაზიდი (ა)
	პროგესტერონი (ა)
1660	აცეტანილიდი (ა)
	ამიდოპირინი (ა)
	ჰექსობარბიტალი (ა)
	ანტიპირინი (ა)
	თეოფილინი (ა)
1661	ბუკარბანი (ა)
	ქლორპროპამიდი (ა)
1663	ქლორტეტრაციკლინი (გ)
1664	სტრიქნინი (ა)
1666	ტეტრაციკლინის ჰიდრო-ქლორიდი
1668	ბემეგრიდი (ა)
	პრედნიზონი (ა)
1673	გალოპერიდოლი (გ)
1674	ბარბიტალი (ა)
1678	კარბამაზეპინი (ა)
1680	ანესთეზინი (ბ)
1681	დიაზეპამი (ა)
1682	ლევომიცეტინი (ა)
	მეტაკვალონი (ა)
1383	ბუტობარბიტალი (ა)
1684	მეთილფენობარბიტალი (ა)
1685	ეტამინალი (ა)
1686	ბენზოის მჟავა (ა)
	ნოქსირონი (ა)
1687	დიალი (ა)
	ლობელინი (ა)
	ოქსაზეპამი (ა)
1688	აცეტილსალიცილის მჟა-ვა (ბ)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
	ფოლის მჟავა (ა)
	მეპროტანი (ა)
	თიოპენტალ-ნატრიუმი (გ)
1689	აპრობარბიტალი (ბ)
1690	ნოვოკაინი (ა)
	თეობრომინი (ა)
1691	პროგესტერონი (ბ)
1692	კარბრომალი (ა)
	ნიტრაზეპამი (ა)
1693	ციკლობარბიტალი (ა)
1695	კოფეინი (ა)
1698	ქლორპროკაინი (ბ)
1700	კოკაინი (ბ)
	ფენილინი (ა)
	თეოფილინი (ბ)
1701	პრედნიზოლონი (გ)
1702	ჰიდროკორტიზონი (ბ)
1703	ფენობარბიტალი (ა)
1705	სახარინი (ა)
	იოქიმბინის ჰიდროქლო-რიდი (ა)
1706	ოქსაზეპამი (ბ)
1707	ბარბიტალი (ბ)
	მეთილფენობარბიტა-ლი (ბ)
	პრედნიზონი (ბ)
1708	ლიდოლი (ა)
	ბუტადიონი (ა)
1709	დიგოქსინი (ბ)
1710	ალანტოინი (ა)
	ბარბიტურის მჟავა (ა)
	ნოქსირონი (ბ)
1711	ნეოსტიგმინის ბრომი-დი (ბ)
1712	ბუტობარბიტალი (ა)
	ჰექსობარბიტალი (ა)
	ჰიოსციამინი (ა)
1713	ეტინამატი (ა)
	დიფენინი (ა)
	ურეთანი (ა)
1715	აპრობარბიტალი (ა)
1716	ფურადონინი (ა)
1718	ატროპინის მეთილბრო-მიდი (ბ)
	ბემეგრიდი (გ)
1719	თეკოდინი (ა)
	ეტამინალი (ა)

ν, სმ⁻¹	ნივთიერება	ν, სმ⁻¹	ნივთიერება
1720	ატროპინი (ა)	1736	სპაზმოლიტინი (ა)
1723	ამიზილი (ა)	1738	ფურაზოლიდონი (ა)
1724	ფიზოსტიგმინი (ა)	1743	ბუტადიონი (ბ)
	დიტილინი (ა)	1744	ეტამინალი (ა)
1725	ციკლობარბიტალი (ბ)	1745	ბუტობარბიტალი (ა)
1728	კოკაინი (გ)	1747	დიფენინი (ა)
	მერიდილი (ა)	1750	ქლორალჰიდრატი (გ)
	პირიდოსტიგმინის ბრომიდი (ა)	1752	პილოკარპინი (ა)
		1754	ბარბიტალი (ბ)
1730	ჰომატროპინი (ა)		ვიდექსი (გ)
1733	სტროფანტინ K (გ)	1756	ფენობარბიტალი (ა)
1734	ბარბიტურის მჟავა (ბ)	1768	დიფენინი

მას-სპექტრომეტრია

მას-სპექტრომეტრული განსაზღვრების დროს წარმოებს საკვლევი ნივთიერების დაბომბვა ელექტრონების ნაკადით და წარმოქმნილი მოლეკულების დადებითი იონების (ფრაგმენტების) რაოდენობრივი რეგისტრაცია. მიღებულ ჩანაწერს მას-სპექტრი ეწოდება.

აპარატურა

სტრუქტურული კვლევისათვის მოწოდებული მას სპექტრომეტრების კლასიფიცირება ხდება დამუხტული ნაწილაკების დაყოფის მეთოდების მიხედვით:

ა) მას სპექტრომეტრები, რომლებშიც ფოკუსირება ხდება მაგნიტური ველის მიმართულების მიხედვით;

ბ) მას-სპექტრომეტრი მხოლოდ მაგნიტური ველით (მარტივი ფოკუსირება);

გ) მას-სპექტრომეტრი ელექტროსტატიკური ველით — ორმაგი ფოკუსირება;

დ) კვადრუპოლური.

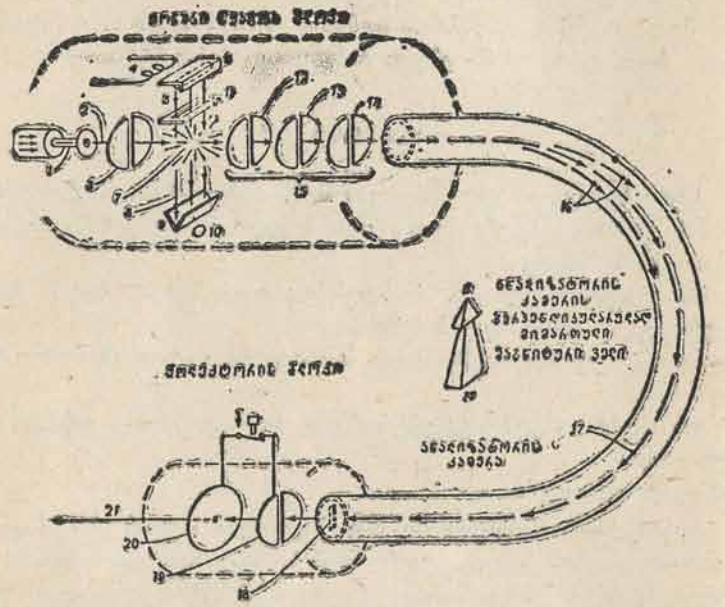
მინიმალური მოთხოვნები, რაც წაეყენება აპარატურას: საკვლევი ნივთიერების მოლეკულური წონის რეგისტრირების უნარი მიახლოებული უნდა იყოს მთელ რიცხვამდე: მეზობელი პიკები უნდა იყოფოდეს მკვეთრად (ისე, რომ შესაძლებელი იყოს იზოტოპური პიკების გარჩევა); მანძილი ორ მეზობელ პიკს შორის არ უნდა აღემატებოდეს ყველაზე დიდი პიკის სიმაღლის 10%.

მარტივი ფოკუსირების ტიპის მას სპექტრომეტრის სქემა იხ. ნახ. 17.

თუ ნიმუში აირია, შეყვანის პროცესი მარტივია და მდგომარეობს საიონიზაციო კამერაში ცნობილი მოცულობის აირის შეშვებაში. სითხის შეყვანისთვის კი გამოიყენება სხვადასხვა მოწყობილობები: მაგ.: მინის დისკზე მიმაგრებული მიკროპიპეტი, შპრიცის ნემსი და სხვა.

ამპულებიდან ნიმუშის გამოსატუმბად ახდენენ ჯერ მშრალი ყინულით გაციებას, შემდეგ კი გახურებას. რაც იწვევს ნიმუშის გამშვებ სისტემაში აორთქლებას. გამახურებელი სისტემები გამოიყე-

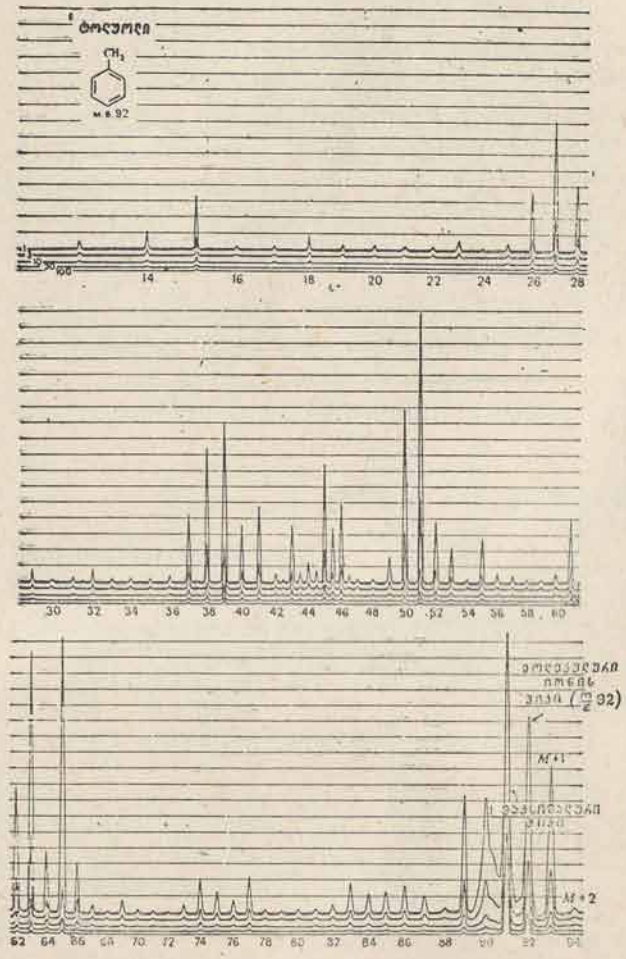
ნება ნაკლებად აქროლადი ან მყარი ნივთიერებებისათვის (ნივთიერება სტაბილური უნდა იყოს იმ ტემპერატურაზე, რომლის დროსაც მისი ორთქლის წნევა აღწევს 10^{-7}—10^{-6}მმ ვწს).



ნახ. 17. მარტივი ფოკუსირების და მასის 180°-იანი სექტორულ-ანალიზატორიანი მას-სპექტრომეტრის სქემა. მაგნიტური ველი მიმართულია ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარულად: 1—მოლეკულური მღვენთავი, 2—გაზის კონა, 3—ამომგდები ელექტროდი, 4—გამახურებელი, 5—ძაფი, 6—ეკრანი, 7—იონიზაციის რაიონი, 8—ელექტრონული კონა, 9—ანოდი, 10—თერმოწყვილი, 11—ელექტრონული კონის მაფორმირებელი ნაპრალი, 12—იონების დამაჩქარებელი პირველი ნაპრალი, 13—მაფოკუსირებელი ნაპრალი, 14—იონების დამაჩქარებელი მეორე ნაპრალი, 15—იონურ-ოპტიკური სისტემა, 16—არარეგისტრირებული იონები, 17—რეგისტრირებული იონები, 18—კოლექტორის ნაპრალი, ზომით 0,76 მმ, 19—ვიწრო ნაპრალი, ზომით—0,18 მმ, 20—კოლექტორი, 21—მიმართულება გამაძლიერებლისკენ.

აირის ნაკადი საწვეთურიდან მღვენთავი ხვდება იონიზაციის კამერაში, რომელიც მუშაობს 10^{-3}—10^{-5} მმ ვწს წნევისას. ამ უკა-

ნასკნელში ნიმუში იბომბება გახურებული ძაფიდან სწორი კუთხით გამოსხივებული ელექტრონების ნაკადით. დადებითი იონები, რომლებიც ამ ნაკადთან ურთიერთქმედებით წარმოიქმნება, სუსტი

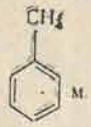


ნახ. 8. მას-სპექტრი, ჩაწერილი სხვადასხვა მგრძნობელობაზე

ელექტროსტატიკური ველით გამოიდევნება დამაჩქარებლის პირველი ნაკადიდან. ძლიერი ელექტროსტატიკური ველი (პირველ და მეორე ნაპრალებს შორის) კი აჩქარებს ამ იონებს მათ საბოლოო სიჩქარემდე. იონთა ნაკადის დამატებითი ფოკუსირება წარმოებს ნაპრალებს შორის. სპექტრის მოსაბრუნებლად ხდება ანალიზატორზე ზედდებული მაგნიტური ველის ან პირველ და მეორე ნაპრალებს შორის დამაჩქარებელი ძაბვის ვარირება. ამგვარად, იონები თანდათან ფოკუსირდება კოლექტორის ნაპრალზე. მაგრამ მიხედვით იონის წყაროდან კოლექტორისაკენ იონთა გატარება ხდება ანალიზატორის კამერის მეშვეობით, რომელიც წარმოადგენს ვაკუუმირებულ (10^{-7}—10^{-8} მმ ვწსვ.) გაღუნულ (180°) მილს, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს ერთგვაროვანი, სტაბილური მაგნიტური ველის წარმოშობა.

იონთა ტიპიური კოლექტორი შედგება ერთი ან რამოდენიმე ნაპრალისა და ფარადეის ცილინდრისაგან. მარეგისტრირებელ მო-

ტოლუოლი



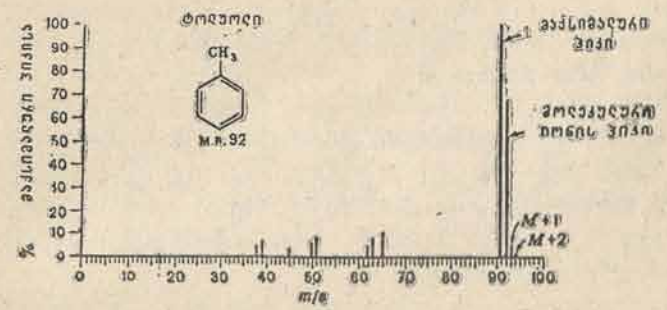
M. B. 92

m/e	% მაქსიმალური პიკისა	m/e	% M
		იზოტოპების შეფასება	
38	4,4	92 (M)	100
39	5,3	93 (M + 1)	7,23
45	3,9	94 (M + 2)	0,29
50	6,3		
51	9,1		
62	4,1		
63	8,6		
65	11		
91	100 (მაქსიმალური პიკი) ᵃ		
92	68 (მოლეკულური იონის პიკი) ᵇ		
93	4,9 (M + 1)		
94	0,2 (M + 2)		

ნახ. 19 ა. მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილის სახით

წყობილობად ფართოდ გამოიყენება ხუთშლეიფიანი სარკიანი გალვანომეტრები, რაც საშუალებას იძლევა სპექტრი ერთდროულად იქნეს ჩაწერილი ხუთ სხვადასხვა მგრძნობელობაზე იხ. ნახ. 18.

19 ა ნახაზზე მოცემულია აღნიშნული სისტემით მიღებული სპექტრების ჩანაწერი ზემოდან ქვემოთ მზარდი მგრძნობელობით 1 : 3 : 10. პიკის სიმაღლე აითვლება ბაზისური ხაზიდან ყველაზე მგრძნობიარე ჩანაწერში, რომელიც არ გამოდის შკალის გარეთ და მრავლდება მგრძნობელობის შესაბამის კოეფიციენტზე. ყოველი პიკის სიმაღლე შესაბამისი მასის იონთა რაოდენობის პროპორციულია. სპექტრის ჩანაწერი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს სპექტრის ან გრაფიკის სახით (19 ბ) პიკები ხასიათდება სიდიდით, რომელიც წარმოადგენს იონის მასის განაყოფს მუხტზე (m/e). რამდენადაც ჩვენ ძირითადად საქმე გვაქვს ერთჯერადად დამუხტულ იონებთან (ე. ი. l = 1), მნიშვნელობა შეესაბამება იონის მასას (m).



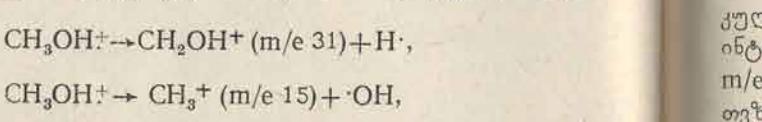
ნახ. 19 ბ. მონაცემები წარმოდგენილია გრაფიკის სახით

მას-სპექტრი მიიღება, როცა ელექტრონული ნაკადის ენერგია 70 ელექტროვოლტია (ევ). უმარტივესი შემთხვევაა მოლეკულის მიერ ერთი ელექტრონის დაკარგვა როცა ელექტრონული ნაკადი ბომბავს მოლეკულურ ნაკადს და მიიღება მოლეკულური იონი (M^+) ესაა კათიონ-რადიკალი. მაგ: მეთანოლისათვის

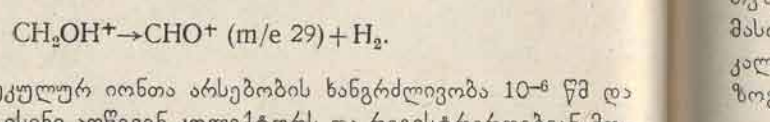
$$CH_3OH + e \rightarrow CH_3OH^{\cdot+}\ (m/e\ 32) + 2e$$

საწყისი იონ-რადიკალი აღინიშნება $^{\cdot+}$. როცა მუხტი ლოკალიზირდება ცალკეულ ატომზე, მუხტის ნიშნით მოცემულია ეს ატომი.

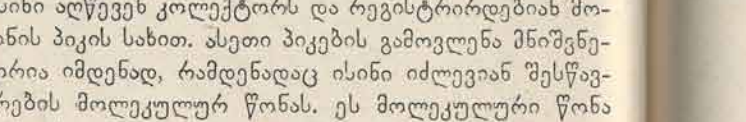
მუხტის ნიშნის ქვეშ წერტილი მიუთითებს გაუწყვილებელ ელექტრონზე. მოლეკულურ იონთა დიდი რაოდენობა იშლება 10^{-10}-დან 10^{-3} წმ-ის განმავლობაში და მარტივ შემთხვევაში იძლევა დადებითად დამუხტულ ნამსხვრევ იონებს და რადიკალებს. ამგვარად მიიღება ნამსხვრევ იონთა რიგი და ამასთან ყოველი მათგანი შეიძლება დაიშალოს კიდევ უფრო პატარა ნამსხვრევებად. მაგ.:



$$CH_3OH^{+\cdot} \rightarrow CH_2OH^+ \text{ (m/e 31)} + H^\cdot,$$



$$CH_3OH^{+\cdot} \rightarrow CH_3^+ \text{ (m/e 15)} + {}^\cdot OH,$$



$$CH_2OH^+ \rightarrow CHO^+ \text{ (m/e 29)} + H_2.$$

თუ მოლეკულურ იონთა არსებობის ხანგრძლივობა 10^{-6} წმ და მეტია, მაშინ ისინი აღწევენ კოლექტორს და რეგისტრირდებიან მოლეკულური იონის პიკის სახით. ასეთი პიკების გამოვლენა მნიშვნელოვანი ფაქტორია იმდენად, რამდენადაც ისინი იძლევიან შესწავლილი ნივთიერების მოლეკულურ წონას. ეს მოლეკულური წონა ახლოსაა მთელ რიცხვთან.

მას-სპექტრი, ესაა გამოსახულება დადებითად დამუხტული ნაწილაკების შეფარდებითი კონცენტრაციის დამოკიდებულებისა მათ მასებთან. სპექტრში ყველაზე ინტენსიურ პიკს უწოდებენ მაქსიმალურს (ძირითადს), თვლიან 100%-ად. სხვა პიკების ინტენსივობა კი მოლეკულური იონის პიკის ჩათვლით გამოისახება პროცენტებში მაქსიმალური პიკის მიმართ.

მოლეკულური იონის პიკი, ესაა პიკი ყველაზე დიდი მასური რიცხვით იზოტოპურ იონთა პიკის გარდა.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ზოგ მოლეკულაში შეიძლება იყოს იზოტოპური ატომები, რომელთა მასა მეტია ვიდრე უმეტესად გავრცელებული იზოტიპი, მას-სპექტრში გვხვდება დიდი მასის მქონე მოლეკულური იონები.

მოლეკულური ფორმულის განსაზღვრა

ფრაგმენტის ბრუტო-ფორმულა ნაწილობრივ შეიძლება მიღებულ იქნეს მხოლოდ მოლეკულური იონის მასის საკმაოდ ზუსტი განსაზღვრით. ეს შესაძლებელია იმიტომ, რომ ატომური მასები

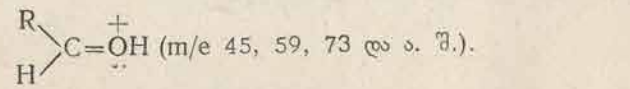
არ არის მთელი რიცხვები. ეს პროცესი საკმაოდ რთულია, ამიტომ შედგენილია ცხრილები, ალგორითმები და პროგრამა ეგმ-სათვის. ცხრილები შეიცავს უმეტესად გავრცელებული ელემენტების ძირითად სტაბილურ იზოტოპებს და მათ შეფარდებით შემცველობას.

ორგანულ ნაერთთა ზოგიერთი კლასის მას-სპექტრების დახასიათება

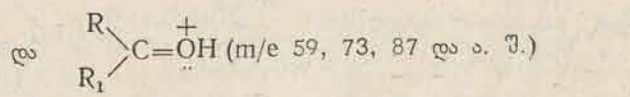
მოლეკულაში არომატული ბირთვის არსებობა იწვევს მოლეკულური იონის სტაბილიზაციას. ამიტომ, ეს უკანასკნელი საკმაოდ ინტენსურია. დამახასიათებელი პიკი (ხშირად მაქსიმალური პიკი), m/e 91-ით ($C_6H_5C_2^+$) მიუთითებს ალკილირებულ ბენზოლის ბირთვზე. მე-3-ე ნახშირბადის ატომთან განშტოება იწვევს 91-ზე მეტი მასის მიღებას. ამასთან, რაც უფრო დიდია ჩანაცვლებული რადიკალი, ელიმინაცია უკეთ ხდება. C—H ბენზოლური გახლეჩვისას ზოგჯერ მიიღება დამახასიათებელი პიკი (M^{-1}).

სპირტები

პირველადი ან მეორადი სპირტების მოლეკულური იონის პიკი დიდი არ არის, მესამადისათვის კი თითქმის შეუმჩნეველია. C—C ბმის გახლეჩა ჟანგბადის ატომის ახლოს, ჩვეულებრივი მოვლენაა. ამდენად, პირველადი სპირტები იძლევა დამახასიათებელ პიკს, რომელიც განპირობებულია $CH_2{=}^+OH$ იონით (m/e 31). მეორადი და მესამედი სპირტები იხლიჩება ანალოგიურად და იძლევა დამახასიათებელ პიკებს შესაბამისად:

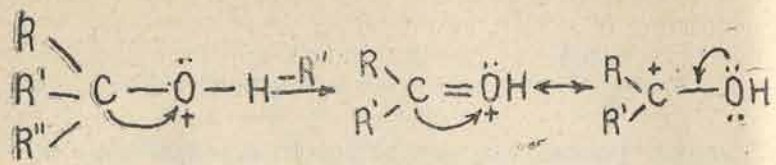


$$\begin{matrix} R \\ H \end{matrix}\!\!>C{=}\overset{+}{O}H \text{ (m/e 45, 59, 73 და ა. შ.)}.$$



$$\text{და} \quad \begin{matrix} R \\ R_1 \end{matrix}\!\!>C{=}\overset{+}{O}H \text{ (m/e 59, 73, 87 და ა. შ.)}$$

თუ ჩანაცვლებული რადიკალი დიდია, მოხლეჩა უფრო ადვილად ხდება:



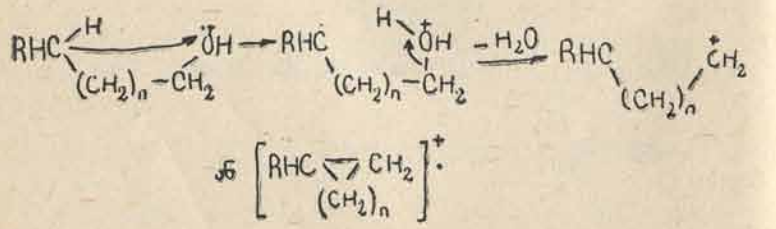
(R''>R: ან R=აღკიდი)

თუ R და (ან) R′=H, ჩვეულებრივ ჩანს პიკი (M^{-1}). პირველადი სპირტები გარდა C—C ბმის გახლეჩვისა, ჟანგბადთან ახლოს იძლევა პიკების ჰომოლოგიურ რიგს მასებით m/e 45, 59, 73. რომელთა ინტენსივობა პროგრესულად მცირდება. ეს პიკები მიიღება C—C ბმების გახლეჩვით, რომლებიც საკმაოდაა დაშორებული ჟანგბადისაგან.

პირველადი სპირტების სპექტრს ზოგჯერ ართულებს სუსტი ან შეუმჩნეველი მოლეკულური იონის პიკის გვერდით მცირე ინტენსივობის პიკები:

M—2 ($R-CH=\overset{+}{O}$) და M—3 ($R-C\equiv\overset{+}{O}$)

ზოგჯერ დამახასიათებელი პიკი შეიძლება იყოს M-18 რაც შეესაბამება წყლის მოლეკულის მოხლეჩვას. ასეთი ელიმინაცია უფრო შესამჩნევია პირველადი სპირტების სპექტრებში, რაც შეიძლება შემდეგნაირად იქნეს წარმოდგენილი:



ალდეჰიდები

ალიფატური ალდეჰიდების მოლეკულური იონის პიკი, ჩვეულებრივ შესამჩნევია. ჟანგბადის ატომის შემდეგ არსებული CH და C—C ბმების გახლეჩვა იწვევს M—1 და M—R პიკების მიღებას. M—1 პიკი კარგად ჩანს გრძელჯაჭვიანი ალდეჰიდებისთვისაც, მაგრამ პიკი m/e 29, C_4 და ზემოთ, ალდეჰიდებში განპირობებულია იონით — $C_2H_5^+$.

ალდეჰიდებში, რომლებიც შეიცავს ნახშირბადის 4 ან მეტ ატომს, ხდება α, β ბმის (C—C) გახლეჩვა, რაც იწვევს ინტენსიური პიკების (m/e 44, 58 ან 78...) მიღებას, α-ჩანაცვლებულებთან დაკავშირებით.

ალდეჰიდებში, რომლებიც სწორ ჯაჭვს შეიცავენ, გვხვდება სხვა სპეციფიური პიკები — M—18 (წყლის მოხლეჩვა), M—28 (ეთილენის მოხლეჩვა), M—43 ($CH_2=CH-O$ — მოხლეჩვა (და M—44 ($CH_2=CH-OH$-ის მოხლეჩვა).

არომატული ალდეჰიდები

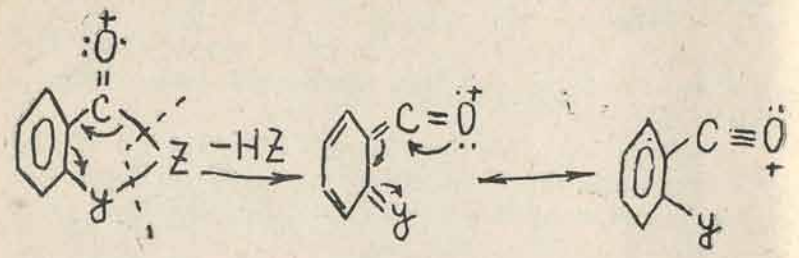
არომატული ალდეჰიდები ხასიათდება მოლეკულური იონის პიკის და M—1 პიკის ($Ar-C\equiv\overset{+}{O}$) სიდიდით. M—1 პიკი შეიძლება მოლეკულური იონის პიკზე დიდიც იყოს. იონი M—1 ($Ph-C\equiv\overset{+}{O}$) იწვევს CO-ს ელიმინაციას და იძლევა ფენილის იონს (m/e 77), რომელსაც თავის მხრივ ეხლიჩება $HC\equiv CH$ და მიიღება იონი $C_4H_3^+$ (m/e 51).

არომატული მჟავეები

არომატულ მჟავათა მოლეკულური იონის პიკები ინტენსიურია. სხვა მახასიათებელი პიკები მიიღება OH (M—17)-ის და COOH (M—45) მოხლეჩვით. შეინიშნება წყლის დაკარგვაც (M—18) თუ ორთო მდგომარეობაში არის წყალბადშემცველი ჯგუფები.

მოვიყვანთ „ორთო“ ეფექტის ერთ მაგალითს, როდესაც ჩამნაცვლებლებს შეუძლიათ წარმოქმნან ექვსწევრიანი გარდამავალი

მდგომარეობა ხელშემწყობი ნეიტრალური მოლეკულების (H_2O, ROH და NH_3) დაკარგვისათვის:



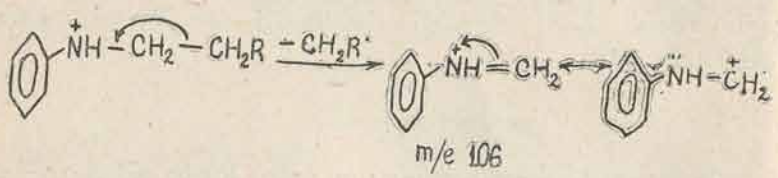
z = OH, OR, NH_2

y = CH_2, O, NH.

არომატული ამინები

არომატული მონოამინის მოლეკულური პიკი ინტენსიურია. ამინო ჯგუფიდან ერთი ატომი წყალბადის მოხლეჩვა იწვევს M—1 პიკის წარმოშობას (ზომიერი ინტენსივობის), ხოლო ნეიტრალური მოლეკულის HCN და შემდგომში წყალბადის ატომის მოხლეჩვა — იძლევა დამახასიათებელ პიკებს m/e 66 და 65 შესაბამისად.

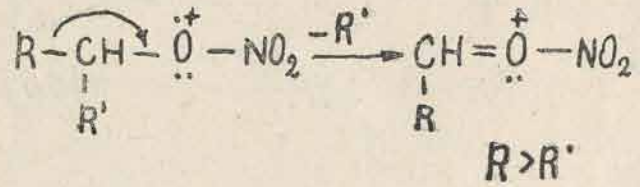
გახლეჩვა ხდება შემდეგნაირად:



ალიფატური ნიტრიტები და ნიტრატები

მათი მოლეკულური იონის პიკები მცირე ინტენსივობისაა ან სულ შეუმჩნეველი ნიტრიტებში იონის პიკი m/e 30 (NO^+) ყოველ-

თვის ინტენსიურია და ხშირად მაქსიმალური. ყველა ნიტრიტისათვის, რომელთაც არა აქვთ განშტოებული ჯაჭვი და α-ნახშირბადის ატომთან დამახასიათებელი პიკი m/e 60 ($CH_2=\overset{+}{O}NO$), რაც შეესაბამება C—C ბმის გახლეჩვას ONO დაჯგუფების გვერდით. განშტოების არსებობა შეიძლება დადგენილ იქნეს შემდეგი პიკების არსებობით: m/e 74, 88, 102... ნიტრიტები და ნიტრონაერთები შეიძლება გავარჩიოთ ერთმანეთისაგან იმით, რომ ნიტრიტებს არა აქვთ პიკი m/e 46. გვერდითი ნიტრატების დამახასიათებელი პიკი მიიღება ONO_2—C—C ბმის გახლეჩვით, α-ნახშირბადთან დაკავშირებული ყველაზე მძიმე ალკილური ჯგუფის დაკარგვით:

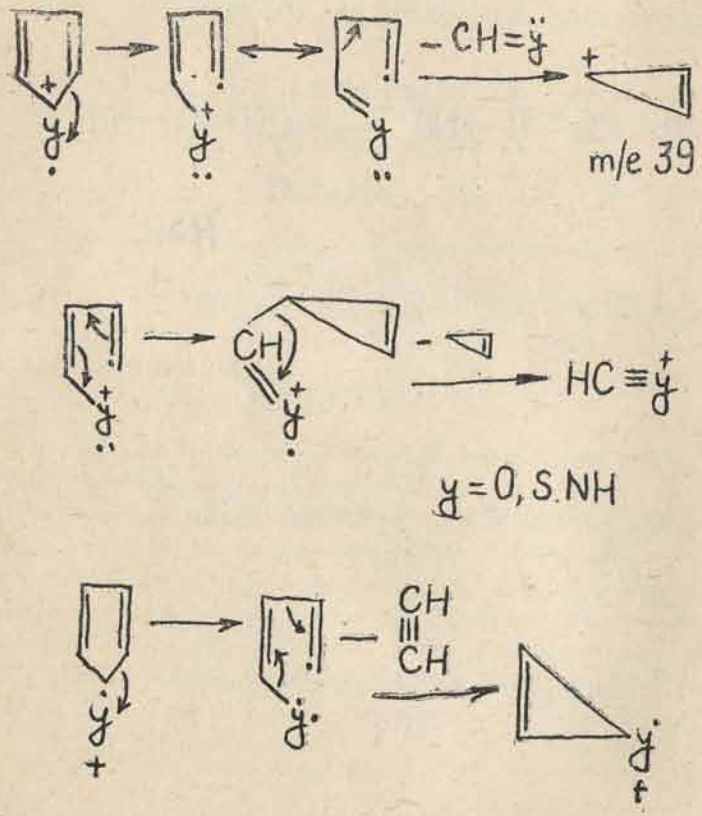


ასევე დამახასიათებელია NO_2^+-იონის პიკი m/e 46-ით.

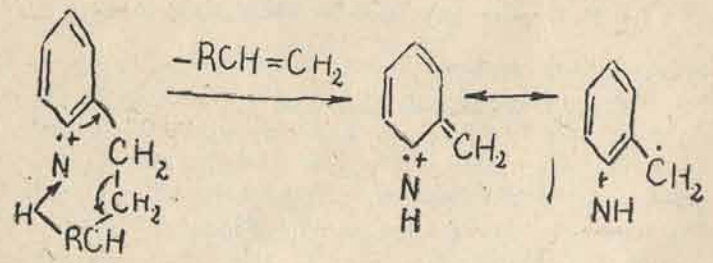
ჰალოგენნაწარმები

ქლორის ერთი ატომის შემცველ ნაერთებს ექნებათ პიკი M+2, რომლის ინტენსივობაც დაახლოებით მოლეკულური იონის პიკის $^1/_3$-ია, იმიტომ რომ მოლეკულური იონი შეიცავს იზოტოპს ^{37}Cl, ბრომის ერთი ატომის შემცველობისთვის —M+2—თითქმის მოლეკულური იონის პიკის ტოლია იზოტოპ ^{81}Br-ის შემცველობის გამო. ქლორის ორი იონის, ბრომის ორი ან ქლორის ერთი და ბრომის ერთი იონის შემცველებს M+4, — M+2-ის გარდა ორი მძიმე იზოტოპის შემცველი მოლეკულური იონების არსებობის გამო. ასე შეიძლება განისაზღვროს მოლეკულაში ქლორის და ბრომის ატომთა რაოდენობა.

ჰეტეროარომატულ და ალკილირებულ ჰეტეროარომატულ ნაერთთა მოლეკულური იონების პიკები ინტენსიურია. ბირთვის მიმართ β მდგომარეობაში ბმის გახლეჩვა დამახასიათებელია საერთოდ ამ ჯგუფის ყველა ნაერთისათვის. პირიდინში ჩანაცვლებულის მდგომარეობა განისაზღვრება π ბმის ადვილად გახლეჩვით. მუხტის ლოკალიზაცია უმეტესად მოდის ჰეტეროატომებზე, ვიდრე ციკლის Π სისტემაზე.



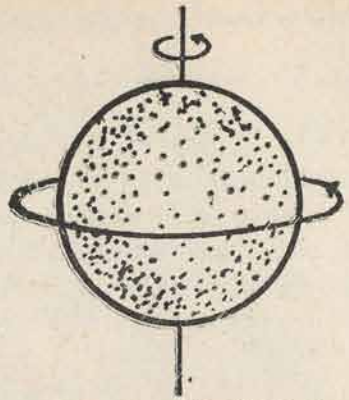
ამგვარად, ფურანში ორი ძირითადი პიკია $C_3H_3^+$ (m/e 39) და $HC\equiv\overset{+}{O}$ (m/e 29) თიოფენში — 3-ია $C_3H_3^+$ (m/e 39), $HC\equiv S^+$ (m/e 45) და $C_2H_2\overset{+}{S}$ (m/e 58), C — Cβ ბმის გახლეჩვა ალკილპირიდინებში განპირობებულია ციკლში ჩანაცვლების მდებარეობით და უფრო მკვეთრადაა გამოხატული თუ ალკილური ჯგუფი არის მესამე მდგომარეობაში. თუ ალკილური ჯგუფი მეორე მდგომარეობაშია და შეიცავს სამზე მეტ ნახშირბადის ატომს, მაშინ ხდება გადაჯგუფება წყალბადის ატომის გადაადგილებით ციკლის აზოტის ატომზე.



ბირთვულ მაგნიტური რეზონანსი (ბმრ)

ბმრ წარმოადგენს აბსორბციულ მეთოდს. განსაზღვრულ პირობებში ნივთიერებას აქვს უნარი შთანთქოს ელექტრომაგნიტური გამოსხივება რადიოსიხშირის დიაპაზონში. შთანთქმის ინტენსივობის დამოკიდებულება სიხშირეზე გამოსახული გრაფიკულად, ქმნის ბმრ სპექტრს.

ცნობილია, რომ ყოველი ბირთვი არის მუხტის მატარებელი. ზოგ ბირთვში ეს მუხტი „ბრუნავს“ ბირთვის ღერძის გარშემო, რაც იწვევს ბრუნვის ღერძის გასწვრივ მიმართული მაგნიტური დიპოლის წარმოქმნას.



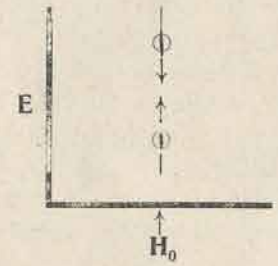
ნახ. 20. მბრუნავი მუხტი პროტონში ქმნის მაგნიტურ დიპოლს.

მბრუნავი მუხტის კუთხური მომენტის აღწერა შესაძლებელია სპინური კვანტური რიცხვებით I, ამ რიცხვებს აქვთ შემდეგი მნიშვნელობები: 0; 1/2; 1; 3/2; და ა. შ. (როდესაც I=0 — სპინები არ არის). წარმოქმნილი დიპოლის საკუთარი სიდიდე გამოიხატება ბირთვულ-მაგნიტური მომენტით μ. ყოველ პროტონს და ნეიტრონს გააჩნია საკუთარი სპინი და მათ ურთიერთქმედებას მივყავართ სპინურ კვანტურ რიცხვამდე (I).

თუ ბირთვში პროტონთა და ნეიტრონთა რაოდენობა წყვილია, მაშინ I=0 ან მთელი რიცხვის (0; 1, 2...). თუ ჯამი კენტი რიცხვია, მაშინ I ღებულობს შემდეგ მნიშვნელობებს — 1/2; 3/2; 5/2.... ბირთვებს ლუწი ციფრით და პროტონებს და ნეიტრონებს შეესაბამება I=0; ბირთვები ^{12}C და ^{16}O მიეკუთვნება ამ ტიპს და არ იძლევა ბმრ სიგნალს.

ზოგ ბირთვს (^{1}H, ^{19}F, ^{13}C და ^{31}P) აქვს სპინური რიცხვი I=1/2 და მუხტის ერთგვაროვანი სფერული განაწილება (ნახ. 20) ბირთვებში, სადაც I≥1 მუხტის განაწილება სფერული არაა. ეს ასიმეტრია აღიწერება ელექტრულ კვადრუპოლური მომენტით, რომელიც გავლენას ახდენს რელაქსაციის დროზე და ამიტომ მეზობელ ატომებთან ურთიერთქმედებაზე. ბირთვებს ^{14}N და ^{2}H აქვთ სპინური რიცხვი, I=1, ხოლო ბირთვებს ^{11}B, ^{35}Cl, ^{37}CCl, ^{79}Br და ^{81}Br—I=3/2.

სპინური რიცხვი I განსაზღვრავს შინაგან ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში სპინების შესაძლო ორიენტაციას. ასეთი ორიენტაციების რიცხვი ტოლია 2I+1. პროტონისათვის შინაგან ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში შესაძლებელია ორი ორიენტაცია. ველის მიმართ პარალელური (ზედდებული) და ანტიპარალელური. პირველი — (მდგრადი მდგომარეობა) ხასიათდება უფრო დაბალი ენერგიით, ვიდრე მეორე (არამდგრადი)



ნახ. 21. პროტონის ენერგეტიკული დონეები

ენერგეტიკული დონეების მდგომარეობა განპირობებულია ბირთვულ მაგნიტური მომენტის μ სიდიდით და შიდა მაგნიტური ველის ზედდებული დაძაბულობით — H_0.

ენერგიის კვანტის შთანთქმისას hγ (h—პლანკის მუდმივა, ν—ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სიხშირე) პროტონს შეუძლია გადავიდეს ქვედა დონიდან (შიდა მაგნიტური ველის — H_0-ის მიმართ პარალელური ორიენტაცია) — ზედაზე (ანტიპარალელური ორიენტაცია).

ბმრ-ის ძირითადი ტოლობა ერთმანეთთან აკავშირებს ელექტრომაგნიტურ გამოსხივების სიხშირეს და მაგნიტური ველის დაძაბულობას:

$$\nu = \frac{\gamma H_0}{2\pi}$$

γ-მუდმივას ეწოდება მაგნიტოგირული დამოკიდებულება და წარმოადგენს ფუნდამენტურ ბირთვულ მუდმივას. ეს არის პრო-

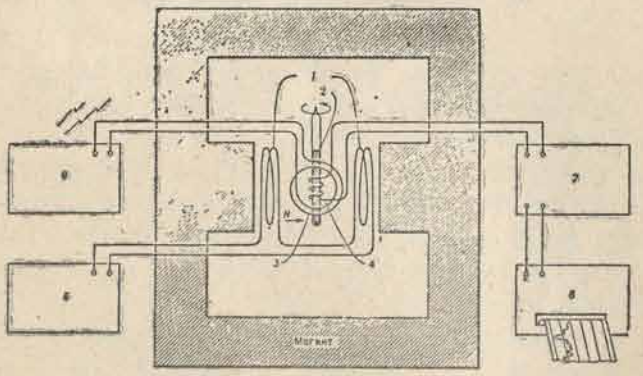
პორციულობის კოეფიციენტი მაგნიტურ მომენტსა (μ) და სპინურ რიცხვს (I) შორის:

$$\nu = \frac{2\pi\mu}{hI}$$

მეთოდის ძირითადი პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ მაგნიტური ველის გასწვრივ ორიენტირებული პროტონი აიძულოს, შთანთქოს ელექტრომაგნიტური ენერგია (ე. ი. მოახდინოს თავისი სპინის გადაორიენტირება და გადავიდეს უფრო მაღალ დონეზე) და განსაზღვროს შთანთქმული ენერგია.

ბმრ-ის სერიული სპექტრომეტრების დანიშნულებაა პროტონული სპექტრების რეგისტრაცია 60 მგჰც სიხშირეზე. ისინი აღჭურვილია მუდმივი მაგნიტებით, რომელთა მაგნიტური ველის ძაბვა 14000 ჰც-მდეა. თუ მაგნიტური ველის ძაბვა 23500 ჰც-ია, სამუშაო სიხშირე — 100 მგ ჰც-ია.

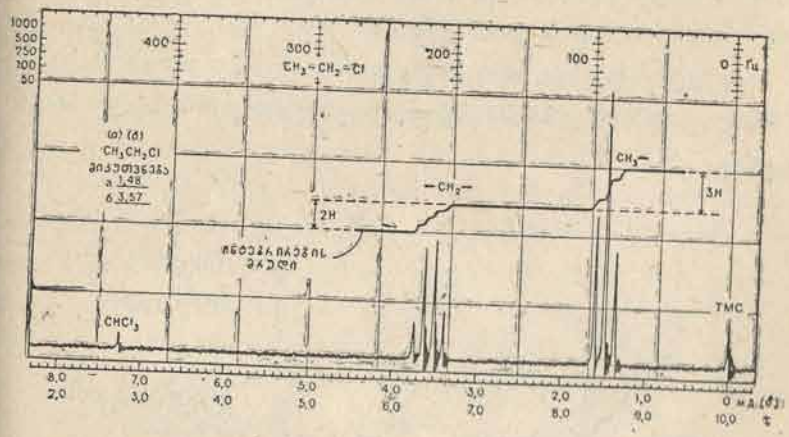
ბმრ-ის სპექტრომეტრის სქემა მოცემულია ნახ. 3.



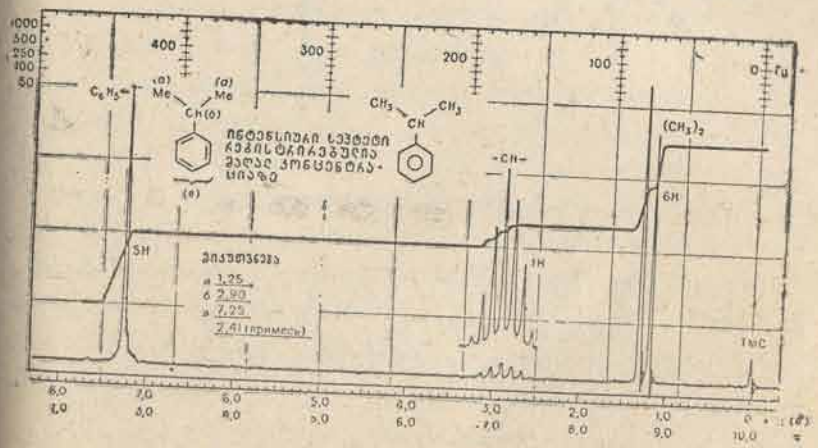
ნახ. 22 ბირთვულ—მაგნიტური რეზონანსის სპექტრომეტრის სქემა.
1—ველის გადამუხტვის კოჭა, 2—ნიმუში, 3—რადიოსიხშირის გენერატორის კოჭი, 4—მიმღების კოჭი, 6—მაგნიტური ველის განმუხტვის გენერატორი, 7—რადიოსიხშირის მიმღები და გამაძლიერებელი, 8—ჩამწერი.

ბმრ სპექტრების მიღებას დეტალურად არ განვიხილავთ. საკმარისია აღინიშნოს, რომ სასურველი სიხშირე და ველის ძაბვა ჩადებულია ხელსაწყოში და გენერატორი ცვლის ველის ძაბვას ვიწრო საზღვრებში. პროტონული სპექტრები ჩვეულებრივ მოთავსებულია 60-დან 100 მგჰც-მდე.

ბმრ სპექტრი წარმოადგენს სიგნალების (პიკების) სერიას, რომელთა ფართობი ამ სიგნალების გამომწვევი პროტონების რიცხვის პროპორციულია.



ნახ. 23. ქლორეთილი ქლოროფორმში 60 მგჰც სამუშაო სიხშირის დროს.



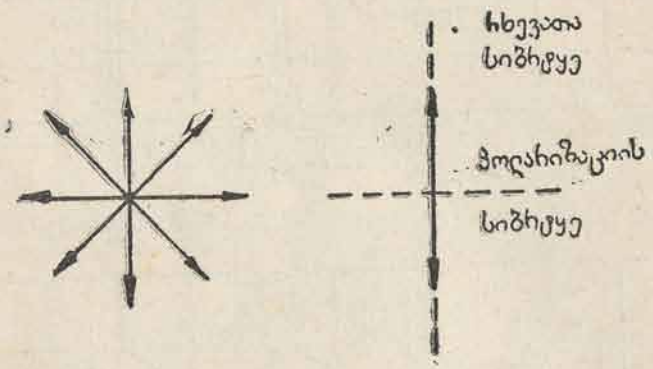
ნახ. 24. კუმოლი $CHCl_3$-ში 60 მგჰც-ზე.

პოლარიმეტრია

(ოპტიკური ბრუნვის განსაზღვრა)

ანალიზის პოლარიმეტრიული მეთოდი დამყარებულია პოლარიზებული სხივების ქცევის შესწავლაზე ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების ხსნარში მისი გავრცელების დროს.

ოპტიკური ბრუნვა არის ნივთიერებათა უნარი აბრუნოს პოლარიზაციის სიბრტყე მათში სწორხაზოვანი პოლარიზებული სხივის გავრცელებისას.



ნახ. 25. ბუნებრივი და პოლარიზებული სხივები.

სინათლის ელექტრომაგნიტური თეორიიდან გამომდინარეობს, რომ სინათლის ტალღები განივია, ე. ი. რხევას ადგილი აქვს სიბრტყეზე, რომელიც სხივის მიმართულების პერპენდიკულარულია. ბუნებრივი სინათლის რხევას ადგილი აქვს ყველა სიბრტყეში, რომელიც სხივის მიმართულების პერპენდიკულარულია (ნახ. 25).

თუ სხივს გავატარებთ კრისტალში, მაშინ კრისტალურ მესერს აქვს უნარი გაატაროს მხოლოდ გარკვეული რხევისა და მიმართულების მქონე სხივები. ამგვარად, კრისტალიდან გასული სხივები ირხევა მხოლოდ ერთი სიბრტყის მიმართ. ისეთ სხივებს, რომელთა რხევა ხდება მხოლოდ ერთი სხივის მიმართ, პოლარიზებული სხივები ეწოდება.

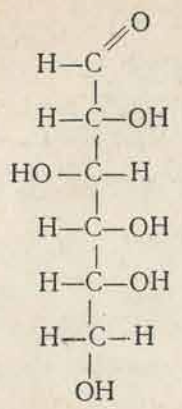
სიბრტყეს, რომლის მიმართ ადგილი აქვს პოლარიზებული სხივების რხევას, რხევის სიბრტყე ეწოდება, ხოლო ამ სიბრტყის პერპენდიკულარულ სიბრტყეს — პოლარიზაციის სიბრტყე.

ნივთიერებანი პოლარიზებული სხივებისადმი დამოკიდებულების მიხედვით ორ ჯგუფად იყოფა.

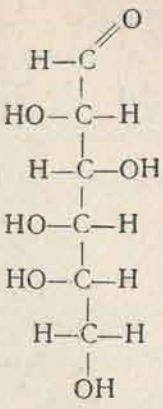
ნივთიერება, რომელსაც სხივების პოლარიზაციის სიბრტყის შემობრუნების უნარი აქვს, წარმოადგენს ოპტიკურად აქტიურსა და ასეთ ნივთიერებებს ოპტიკურად აქტიურს ან კიდევ ოპტიკურად მბრუნავს უწოდებენ, ხოლო ნივთიერებებს, რომელთაც არ გააჩნიათ უნარი აბრუნონ პოლარიზებული სხივის პოლარიზაციის სიბრტყე, წარმოადგენენ ოპტიკურად არააქტიურს და ასეთ ნივთიერებებს ოპტიკურად არააქტიური ეწოდება.

ნაერთის ოპტიკური აქტივობა განპირობებულია ორი ფაქტორით: ნივთიერების კრისტალური მესერის თავისებურებით ან ორგანული ნაერთის მოლეკულის აღნაგობით.

აღნიშნულ ფაქტორებთან კავშირში ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებანი ორ ჯგუფად იყოფა: პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებანი, რომელთა მოლეკულები შეიცავს ასიმეტრიული ნახშირბადის ატომს (ან სხვა კონფიგურაციას, რომელიც აპირობებს მოლეკულის სივრცით ასიმეტრიას). ასეთ ნივთიერებაში ან მის ხსნარში პოლარიზებული სხივების გავლისას ადგილი აქვს პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვას. გლუკოზას ($C_6H_{12}O_6$) აქვს ორი ოპტიკურად აქტიური ფორმა: α-გლუკოზა და β-გლუკოზა, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება მოლეკულაში ატომთა სივრცითი განლაგებით:



α-გლუკოზა



β-გლუკოზა

ამ ტიპის ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებანი აქტივობას ამჟღავნებენ მხოლოდ გამდნარ ან გახსნილ მდგომარეობაში.

მეორე ტიპის ოპტიკურად აქტიურ ნივთიერებებს მიეკუთვნება ნივთიერებანი, რომელთა პოლარიზაციის უნარი განპირობებულია მათი კრისტალური ცხაურით და კრისტალური ცხაურის შეცვლასთან ერთად კარგავს პოლარიზაციის უნარს. ამ ტიპის კრისტალური ნივთიერების მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ კვარცი, ნატრიუმის ქლორიდი და სხვ., რომელნიც სხივების პოლარიზაციის უნარს იჩენენ მხოლოდ კრისტალურ მდგომარეობაში, გამდნარ ან გახსნილ მდგომარეობაში კი კარგავენ.

პოლარიმეტრიული მეთოდით შეიძლება შესწავლილ იქნეს მხოლოდ ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებანი. ასეთი ნივთიერების ფენაში პოლარიზებული სხივების გავრცელებისას ადგილი აქვს პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვას. ნივთიერებაში გასული სხივის პოლარიზაციის სიბრტყე აღმოჩნდება მობრუნებული მარჯვნივ ან მარცხნივ გარკვეული კუთხით, რასაც ბრუნვის კუთხე ეწოდება.

პოლარიმეტრებში გამოყენებულია ორი სპეციალური კრისტალური პრიზმა (ნიკოლები), მათგან ერთი პოლარიზატორია (ჩვეულებრივ სხივებს პოლარიზებულ სხივებად გარდაქმნის), ხოლო მეორე — ანალიზატორი.

როდესაც პოლარიზატორი და ანალიზატორი განლაგებულია ერთმანეთის პარალელურად, მაშინ სინათლის სხივები გაივლის ორივე ნიკოლში, ხოლო როდესაც ანალიზატორი შემობრუნებულია 90°-ით, მაშინ სინათლის სხივებს არ შეუძლიათ ანალიზატორში გასვლა, რადგან სხივებს, რომლებიც გაივლის პოლარიზატორს, ახასიათებს რხევის სიბრტყე, რომელიც პერპენდიკულარულია ანალიზატორში გავლილი სხივის რხევის სიბრტყისა. ნიკოლების ასეთ მდებარეობას ნიკოლების ჩრდილში დაყენებას უწოდებენ. როდესაც ჩრდილში დაყენებულ ნიკოლთა შორის მოვათავსებთ ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების ხსნარს, მაშინ ანალიზატორი განათდება. განათება დამოკიდებულია იმაზე, რომ ხსნარიდან გამოსული სხივი განიცდის რხევას უკვე არა ანალიზატორის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში. იმისათვის, რომ კვლავ მივაღწიოთ დაბნელებას, საჭიროა ანალიზატორი მოვაბრუნოთ გარკვეული მიმართულებით. ეს შემობრუნება იზომება გრადუსებში და მისი განსაზღვრით შეიძლება პრაქტიკულად გამოვითვალოთ ბრუნვის კუთხე.

პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვას ნივთიერების ბუნებასთან დამოკიდებულებით შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა მიმართულება და სიდიდე. თუ დამკვირვებლიდან, რომლისკენაც მიმართულია სინათლე გამავალი ოპტიკურად აქტიურ ნივთიერებაში, პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვა ხდება მარჯვნივ (საათის ისრის მიმართულებით), ნივთიერებას უწოდებენ მარჯვნივ მბრუნავს და სახელწოდების წინ სვამენ ინდექს D ან (+) ნიშანს, ხოლო თუ აბრუნებს მარცხნივ (საათის ისრის საწინააღმდეგოდ), მაშინ ნივთიერებას უწოდებენ მარცხნივ მბრუნავს და სახელწოდების წინ წერენ ინდექს L ან (—) ნიშანს.

პოლარიზაციის სიბრტყის გადახრის სიდიდეს საწყისი მდგომარეობიდან გამოსახულს კუთხურ გრადუსებში ეწოდება ბრუნვის კუთხე და აღინიშნება ბერძნული ასოთი — α.

ბრუნვის კუთხის სიდიდე დამოკიდებულია ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების ბუნებაზე, ნივთიერების ფენის სისქეზე, ტემპერატურაზე და სინათლის ტალღის სიგრძეზე. ბრუნვის კუთხის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია ფენის სისქისა. ტემპერატურის გავლენა უმთავრესად დაკავშირებულია ხსნარის სიმკვრივის შეც-

ვლასთან და პრაქტიკული თვალთახედვით უმნიშვნელოა (ტემპერატურის გადიდებით ხვედრითი ბრუნვა იზრდება). ჩვეულებრივ ოპტიკური აქტივობის განსაზღვრას ატარებენ 20°-ზე და D ნატრიუმის სპექტრის სინათლეში 589,3 მმკ ტალღის სიგრძეზე. პოლარიზაციის სიბრტყის ხვედრითი ბრუნვა სინათლის ტალღის სიგრძის ზრდასთან ერთად მცირდება. სხვადასხვა ნივთიერებათა ოპტიკური აქტივობის უნარის შედარებითი შეფასებისათვის პოლარიზაციის სიბრტყეს გამოსახავენ ე. წ. ხ ვ ე დ რ ი თ ი ბ რ უ ნ ვ ი თ.

ხვედრით ბრუნვას უწოდებენ პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვას, რომელსაც იწვევს 1 დმ ფენის სისქის ნივთიერება 1 მლ-ში 1 გ ნივთიერების შემცველობის გადაანგარიშებით. თუ ხვედრითი ბრუნვის განსაზღვრას ატარებენ ნატრიუმის სპექტრის სინათლის ტალღებით D და 20°-ზე, მას აღნიშნავენ გამოსახულებით $[\alpha]_D^{20}$.

თხევადი ნივთიერების ხვედრითი ბრუნვა განისაზღვრება ფორმულით: $[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{l \cdot d}$,

სადაც: α — ექსპერიმენტულად განსაზღვრული ბრუნვის კუთხეა გრადუსებში;
l — სითხის ფენის სისქე დეციმეტრებში;
d — სითხის სიმკვრივე.

ხსნარებისათვის ხვედრითი ბრუნვა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha \cdot 100}{l \cdot c},$$

სადაც: α — გაზომილი ბრუნვის კუთხეა გრადუსებში:
l — ხსნარის ფენის სისქე დეციმეტრებში;
C — ხსნარის კონცენტრაცია გამოსახული გრამებში 100 მლ ხსნარზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ხვედრით ბრუნვას საზღვრავენ ხსნარებში, მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ ხვედრითი ბრუნვის სიდიდე დამოკიდებულია გამხსნელის ბუნებაზე და ხსნარის კონცენტრაციაზე. გამხსნელის შეცვლით შესაძლებელია შეიცვალოს არა მარტო ბრუნვის კუთხის სიდიდე, აგრეთვე მისი მიმართულებაც. ბევრ შემთხვევაში ხვედრითი ბრუნვის სიდიდე მუდმივია მხოლოდ კონცენტრაციის გარკვეულ ინტერვალში. ამიტომ ხვედრითი ბრუნვის სიდიდესთან ერთად აუცილებლად უნდა აღინიშნოს გამხსნელი და ხსნარის კონცენტრაცია.

კონცენტრაციის ინტერვალში, რომლის დროსაც ხვედრითი ბრუნვა მუდმივი სიდიდეა, ბრუნვის კუთხით შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაცია, რისთვისაც სარგებლობენ ფორმულით:

$$C = \frac{\alpha \cdot 100}{[\alpha]_D^{20} \cdot l}.$$

სხვადასხვა ნივთიერებებს ახასიათებს ხვედრითი ბრუნვის სხვადასხვა სიდიდეები. მაგალითად, ცხიმებს ხვედრითი ბრუნვის მცირე სიდიდე ახასიათებს, მათი $[\alpha]_D^{20}$ იშვიათად აღემატება $\pm 1°$, ამ მხრივ ნაკლებაქტიური არიან ცილებიც. პოლარიმეტრიული მეთოდით უფრო ხშირად სარგებლობენ ეთეროვანი ზეთების, ნახშირწყლების, ალკალოიდების, ორგანული მჟავების და აგრეთვე ზოგიერთი ანტიბიოტიკის, ჰორმონის და ვიტამინის ანალიზის დროს.

შაქრების ახლად მომზადებული ხსნარები ამჟღავნებენ ეგრეთწოდებულ მუტაროტაციას, რაც იმაში გამოიხატება, რომ ადგილი აქვს ხვედრითი ბრუნვის სიდიდის ცვლილებას. ამიტომ განსაზღვრამდე საჭიროა ხსნარი დავაყოვნოთ რამდენიმე საათით ან გავაცხელოთ წყლის აბაზანაზე 80—90°-ზე 30 წუთით, ან კიდევ დავუმატოთ ამონიაკი 0,01% შემცველობით ოპტიკური იზომერების სისტემაში წონასწორობის დადგენის დასაჩქარებლად.

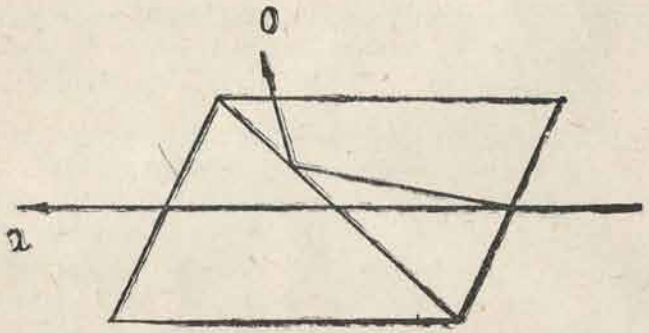
პ ო ლ ა რ ი მ ე ტ რ ე ბ ი. ბრუნვის კუთხის განსასაზღვრავი ხელსაწყოები სხვადასხვა კონსტრუქციის არის და შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს:

1. პოლარიმეტრები, რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია ყველა ოპტიკურად აქტიური ნივთიერების გამოკვლევა.

2. საქარიმეტრები, რომელთა სპეციალურ დანიშნულებას შეადგენს ხსნარებში შაქრის კონცენტრაციის განსაზღვრა. საქარიმეტრებით შესაძლებელია სხვა ნივთიერებათა ბრუნვის კუთხის განსაზღვრაც, მაგრამ ნაკლები სიზუსტით.

პოლარიმეტრიული ანალიზის ყოველი ხელსაწყოს ძირითად ნაწილს წარმოადგენს პოლარიზებული სხივების წყარო — პოლარიზატორი, და ხელსაწყო მათი ანალიზისათვის — ანალიზატორი. ბუნებრივი სინათლე პოლარიზატორში გავლით გარდაიქმნება პოლარიზებულად. პოლარიზატორი შედგება ერთი ან ორი ნიკოლის პრიზმისაგან, რომელიც ისლანდიური შპატისაგან არის დამზადებული, და ობიექტივისაგან, რომელიც მიმართულია სინათლის წყაროსადმი.

ნიკოლის პრიზმაში ჩვეულებრივი O სხივი განიცდის სრულ შიდა არეკვლას, ხოლო არაჩვეულებრივი a სხივი გადის ნიკოლში (ნახ. 26).



ნახ. 26. ნიკოლის პრიზმა.

თანამედროვე ზოგიერთ ხელსაწყოში გამოიყენება გამარტივებული პოლაროიდი, რომელიც წარმოადგენს იოდის ორგანული ნაერთით დაფარულ ფირფიტას. მათთან მუშაობა პრინციპულად არ განსხვავდება ნიკოლებთან მუშაობისაგან და სრულიად ცვლის ძვირფას ნიკოლებს.

ანალიზატორი, რომლის დანიშნულებას შეადგენს პოლარიზაციის სიბრტყის მდებარეობის განსაზღვრა, შედგება ნიკოლის პრიზმისა და ოკულარიანი სამზერი მილისაგან.

პოლარიზატორი და ანალიზატორი ურთიერთისაგან დაცილებულია გარკვეული მანძილით. მათ შორის არის ღარი, რომელშიც

თავსდება მილი გამოსაკვლევი ხსნარით. მილის ორთავე ბოლოს ეფარება გამჭვირვალე მინის ფირფიტები. მილი მთლიანად უნდა აივსოს სითხით ისე, რომ ჰაერის ბუშტუკები არ დარჩეს. იყენებენ 1 ან 2 დმ სიგრძის მილებს, ხოლო შეფერილი სითხეების გამოკვლევისათვის საჭიროა გამოყენებულ იქნეს უფრო მოკლე (0,25—0,5) მილები.

პოლარიზატორსა და სინათლის წყაროს შორის მოთავსებულია შუქფილტრი, რომელიც წარმოადგენს კალიუმის ბიქრომატის 6% ხსნარით სავსე მინის კიუვეტს.

ანალიზატორს მიერთებული აქვს მეტალური დისკი სახელურით და 360° დანაყოფიანი წრიული სკალით. დისკზე არის აგრეთვე ნონიურის სკალა, რაც საშუალებას იძლევა ავითვალოთ ბრუნვის კუთხე 0,01° სიზუსტით.

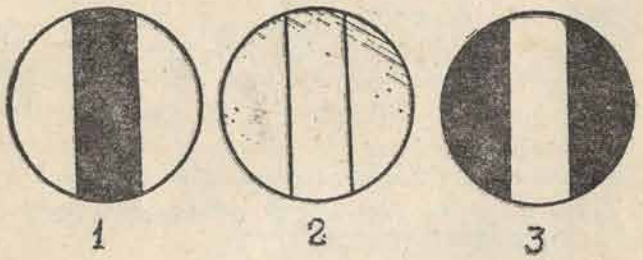
თანამედროვე ზუსტ პოლარიმეტრებს აქვს აგრეთვე ორი ნონიურის სკალა და ლუპა, რაც სკალის დანაყოფების ზუსტად ათვლის საშუალებას იძლევა (ნახ. 26).

განსაზღვრის მეთოდი

პოლარიმეტრზე განსაზღვრებს ჩვეულებრივ ჩაბნელებულ ოთახში ატარებენ. მუშაობის დაწყებამდე ამოწმებენ შუქფილტრს, რომელიც პოლარიზატორისა და სინათლის წყაროს შორის არის მოთავსებული (პოლარიზატორის კორპუსები), და, თუ არ არის შევსებული, ავსებენ კალიუმის ბიქრომატის 6% ხსნარით. ამისათვის მოხრახნიან პოლარიზატორის გარეთა ნაწილს, მოხსნიან შუქფილტრის კიუვეტს და შეავსებენ ხსნარით ისე, რომ მასში ჰაერის ბუშტუკები არ დარჩეს, რის შემდეგ კიუვეტს უკანვე ამაგრებენ. უნდა შევნიშნოთ, რომ ზოგიერთი კონსტრუქციის პოლარიმეტრებს მინის შუქფილტრი აქვს და ამ შემთხვევაში არ საჭიროებს ბიქრომატის ხსნარის ჩასხმას. ანთებენ სინათლის წყაროს, პოლარიმეტრის ღარში ათავსებენ ცარიელ ან გამხსნელით ავსებულ მილს და ოკულარის დისკის ბრუნვით აყენებენ ნულოვან წერტილს. ამისათვის დამკვირვებელი ოკულარში უნდა იყურებოდეს და აბრუნებდეს ანალიზატორის დისკს მოძრავი და უძრავი სკალის ნულოვანი წერტილების ახლო მდებარეობის ფარგლებში, სანამ მხედველობის არე

დისკში სრულიად ერთფეროვანი და ჩაბნელებული არ გახდება (სურ. 27, მდგომარეობა 2), ეს სურათი შეესაბამება ნულოვან წერტილს სკალაზე.

ნულოვანი წერტილის მდებარეობა, ანუ ერთგვაროვანი ჩაბნელების მდგომარეობა ხასიათდება იმით, რომ ანალიზატორის ძლიერ მცირე შემობრუნებითაც კი რომელიმე მხარეზე მხედველობის არის რომელიმე სექტორი მკვეთრად იცვლის ფერს (ნახ. 27) მდგომარეობა 1 და 3). ნულოვანი წერტილის, ანუ ე. წ. კომპენსაციური მდგომარეობის პირობებში აკვირდებიან სკალას და აითვლიან დანაყოფს. პოლარიმეტრის ნულოვანი წერტილი ჩვეულებრივ სკალის ნულოვან დანაყოფს უნდა ეფარდებოდეს მაგრამ ხშირად არ არის ამგვარი დამთხვევა და საჭიროა ექსპერიმენტულად იქნეს დადგენილი ნულოვანი წერტილი, რისთვისაც დაკვირვებას იმეორებენ 4-ჯერ. მიღებული მონაცემების საშუალო ციფრი შეესაბამება ხელსაწყოს ნულოვან წერტილს.



ნახ. 27. სამი მდგომარეობა პოლარიმეტრის მხედველობის არეში

ნულოვანი წერტილის დაყენების შემდეგ ამოიღებენ მილს აპარატიდან, ავსებენ მას გამოსაკვლევი ობიექტით ისე, რომ მილში არ დარჩეს ჰაერის ბუშტუკები, მიხრახნიან სახურავს, ათავსებენ პოლარიმეტრის ღარში და ზემოაღწერილი მეთოდით რამდენიმე განსაზღვრით ნახულობენ კომპენსაციურ მდგომარეობას.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა. გამოსაკვლევი ობიექტი არ უნდა იყოს მღვრიე ან არ უნდა შეიცავდეს მექანიკურ ნაწილაკებს. ასეთ შემთხვევაში

საჭიროა მათი წინასწარი გაფილტვრა და ამასთანავე ფილტრატის პირველი ულუფის გადაღვრა.

სხვაობა ნულოვანი წერტილისა და კომპენსაციური წერტილის ანათვალს შორის წარმოადგენს გამოსაკვლევი ობიექტის ბრუნვის კუთხეს. განსხვავება განსაზღვრის ცალკეულ ანათვლებს შორის ნონიუსის 2—3 დანაყოფს არ უნდა აღემატებოდეს.

ნივთიერება მარჯვნივ მბრუნავია იმ შემთხვევაში, თუ მხედველობის არეში ერთგვაროვანი ჩაბნელების (ნულოვანი წერტილის სურათის) აღსადგენად ანალიზატორი უნდა მოვაბრუნოთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით უფრო მცირე კუთხით, ვიდრე საწინააღმდეგო მიმართულებით. ხოლო, თუ ანალიზატორის ბრუნვა ამავე მიზნით საჭიროა საწინააღმდეგო მიმართულებით, ნივთიერება მარცხნივ მბრუნავია.

გ ა მ ო ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ი ს მ ა გ ა ლ ი თ ე ბ ი

1. დავუშვათ, რომ ნულოვანი წერტილის საშუალო ანათვალი 1 დმ სიგრძის ცარიელ მილზე შეადგენს 0,02, ანუ რაც იგივეა 359,98°. პიტნის ზეთით სავსე მილის შემთხვევაში ზუსტად იგივე პირობებში კომპენსაციას ადგილი აქვს 334,73°.

ბრუნვის კუთხე α გამოიანგარიშება შემდეგნაირად:

$$\alpha = 334{,}73^\circ - 359{,}98^\circ = -25{,}25^\circ,$$

როდესაც ზეთის ხვედრითი წონა d=0,912, ხვედრითი ბრუნვა

$$\left[\alpha\right]_D^{20} = \frac{25{,}25}{1 \cdot 0{,}912} = -27{,}69^\circ.$$

2. ნულოვანი წერტილი 1 დმ სიგრძის წყლით სავსე მილის შემთხვევაში შეადგენს +0,01°, ანუ 180,01°. სკალის ანათვალი იგივე პირობებში, მხოლოდ იმ სხვაობით, რომ მილი გავსებულია გლუკოზის 10% ხსნარით, შეადგენს +5,14°, ანუ +185,14° (ხუთი ანათვალის საშუალო) 20° ტემპერატურაზე. აღნიშნული მონაცემებიდან გამომდინარე, ბრუნვის კუთხე ტოლი იქნება:

$$\alpha = 5{,}14^\circ - 0{,}01^\circ = +5{,}13^\circ;$$

ანუ $$\alpha = 185{,}14^\circ - 180{,}01^\circ = +5{,}13^\circ,$$

ხოლო ხვედრითი ბრუნვა იქნება:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{5{,}13 \cdot 100}{1 \cdot 9{,}988} = +51{,}36^\circ.$$

3. მაგალითად, განსასაზღვრავი გვაქვს გლუკოზის დაახლოებით 10% ხსნარის კონცენტრაცია. პოლარიმეტრიულმა დაკვირვებამ გვიჩვენა, რომ 2 დმ მილის სიგრძის პირობებში ბრუნვის კუთხე ტოლია 9,2°. ფარმაკოპეაში მოცემულია გლუკოზის ხსნარის ხვედრითი ბრუნვის სიდიდე, რაც შეადგენს +51—+53° (ე. ი. საშუალო ტოლი იქნება +52°). მოცემული სიდიდეებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ კონცენტრაცია

$$C = \frac{100 \cdot 9{,}2}{2 \cdot 52} = 8{,}84\%.$$

ოპტიკურად მოქმედ ნივთიერებათა ხსნარების კონცენტრაციის განსაზღვრის გამოანგარიშების გამარტივებისათვის გამოიყენება საკალიბრო გრაფიკი, სადაც ორდინატზე მოცემულია ბრუნვის კუთხის მნიშვნელობანი, ხოლო აბსცისზე — კონცენტრაცია.

პოლარიმეტრიული მეთოდი გამოიყენება რიგი სამკურნალწამლო პრეპარატების (ოპტიკურად მოქმედი) თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის. ამ მეთოდით შეიძლება აგრეთვე ნივთიერებათა სისუფთავის ხარისხის დადგენა, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს წამალთა კეთილხარისხოვნების განსაზღვრის საქმეში.

ლუმინესცენტური ანალიზი

ლუმინესცენცია არის ნივთიერების თვისება გამოასხივოს შთანთქმული სხივი სხვა სიგრძის ტალღის სხივის სახით, ამ დროს არჩევენ ფოსფორესცენციის და ფლოუორესცენციის მოვლენებს.

ფლუორესცენციის დროს გამოსხივება წყდება ამ მოვლენის გამომწვევი სხივებით დასხივების შეწყვეტისთანავე, ხოლო ფოსფორესცენციის დროს დასხივების შეწყვეტის შემდეგაც გრძელდება ნათება.

ლუმინესცენტურ ანალიზში გამოიყენება ნივთიერებათა ფლუორესცენციის უნარი, რის გამოც ამ მეთოდს ხშირად ფლუორესცენტულ მეთოდსაც უწოდებენ.

ანალიზურ ქიმიაში ფლუორესცენციის უნარის გამოყენება ემყარება იმ თვისებას, რომ სხვადასხვა ნივთიერებანი სხვადასხვაგვარად ფლუორესცირდებიან, ე. ი. სხვადასხვა სიგრძის ტალღის სხივებს გამოასხივებენ, რითაც შესაძლებელი ხდება ვიმსჯელოთ ამა თუ იმ ნივთიერების იგივეობაზე, კეთილხარისხოვნებაზე და ზოგჯერ შეიძლება მიახლოებით განვსაზღვროთ რაოდენობრივადაც კი.

გაშუქებისათვის უმთავრესად გამოყენებულია ულტრაიისფერი სხივები, რომლის წყაროს წარმოადგენს სინდიყ-კვარცის ნათურა, სათანადო შუქფილტრების გამოყენებით მიიღება თითქმის მონოქრომატული ულტრაიისფერი სხივები, რომლითაც აშუქებენ გამოსაკვლევ ნივთიერებას.

ფარმაციაში ლუმინესცენტური ანალიზი განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება მცენარეული ნედლეულის გამოკვლევის დროს და გალენური პრეპარატების ანალიზში.

ფლუორესცენციით ნივთიერებათა თვისობრივი გამოკვლევა ხშირად ძლიერ დიდი მგრძნობიარობით გამოირჩევა. ქინაქინის სულფატი ამ მეთოდით შეიძლება აღმოჩენილ იქნეს $1 : 10^{-8}$ განზავების პირობებშიაც კი, რომელიც ლურჯად ფლუორესცირდება.

ზოგიერთი არაორგანული ნაერთები არათუ თვითონ არ განიცდიან ფლუორესცენციას, არამედ აქრობენ სხვა ნივთიერებათა ფლუორესცენციის უნარს, მაგალითად, ჰალოიდთა იონები. ამის გამო მეთოდის მგრძნობიარობა ზოგჯერ მცირდება.

ფლუორესცენციის უნარი გამოიყენება აგრეთვე ნივთიერებათა (პრეპარატთა) სიწმინდის დასადგენად და განსაკუთრებით დაშლის პროდუქტების აღმოსაჩენად სამკურნალო პრეპარატებში მათი შენახვის პირობებში, რომლის დროსაც ვლინდება ფლუორესცენციის ხასიათის შეცვლა ან კიდევ განსხვავებული ფლუორესცენციის უნარის ნივთიერებათა გამოვლინება, რაც მიგვითითებს პრეპარატთა დაშლაზე და ახალი პროდუქტების წარმოქმნაზე. მაგალითად, ასპირინის ჰიდროლიზის ხარისხსა და მისგან სალიცილმჟავას გამოყოფაზე მიუთითებს ლურჯი ფლუორესცენცია, რადგან ასპირინი თვითონ არ განიცდის ფლუორესცენციას.

ფლუორომეტრიული მეთოდი გამოიყენება ვიტამინებისა და გლუკოზიდების გამოკვლევის დროს.

ზოგიერთი ალკალოიდი განიცდის ფლუორესცენციას. მაგალითად, ატროპინი ფლუორესცირდება ლურჯად, ჰიოსციამინი — მოწითალოდ, სკოპოლამინი — ლურჯად და ა. შ.

ქინაქინის სულფატის რაოდენობრივი განსაზღვრა ტარდება ფლუორესცენტური ტიტვრის მეთოდით, რაც ემყარება იმას, რომ ქინაქინის სულფატის გატიტვრისას ტუტის ტიტრიანი ხსნარით ულტრაიისფერ შუქზე ეკვივალენტური წერტილი აღინიშნება ფლუორესცენციის ჩაქრობით.

ლუმინესცენტურ მეთოდს განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ქრომატოგრაფიასთან კომბინაციაში, ქრომატოგრამათა გამოსამჟღავნებლად.

ფლუორომეტრია

ფლუორომეტრია ფოტომეტრიული ანალიზის მეთოდია, რომელიც ემყარება გამოსაკვლევი ნივთიერების ფლუორესცენციის ინტენსივობის გაზომვას.

განზავებულ ხსნარებში ფლუორესცენციის ინტენსივობა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ტოლობით: $F = J_0\, 2{,}3\, \varepsilon c b \varphi$,

სადაც F — ფლუორესცენციის საერთო ინტენსივობაა ქვანტ/სეკ-ში;

J_0 — ამგზნები სინათლის ინტენსივობა ქვანტ/სეკ-ში;

C — ხსნარის კონცენტრაცია მოლ/ლ-ში;

ε — შთანთქმის მოლური კოეფიციენტი;

b — ფლუორესცენციის უნარის მქონე ხსნარის ფენის სისქე სმ-ში;

φ — ფლუორესცენციის ქვანტური გამოსავალი, რომელიც ნივთიერების ბუნებაზეა დამოკიდებული.

ხსნარებში ფლუოროომეტრიულად განსაზღვრავენ ნივთიერებებს, რომელთა კონცენტრაცია 10^{-4}—10^{-6} გ/მლ, ანუ 0,1 0,001 მგ/მლ არ აღემატება ისეთ პირობებში, როდესაც ფლუორესცენციის ინტენსივობა ნივთიერების კონცენტრაციის პროპორციულად იზრდება.

ფლუორესცენციის ინტენსივობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გამომწვევი სინათლის ტალღის სიგრძეზე და გამოსაკვლევი ხსნარის pH-ის სიდიდეზე, გამხსნელის ბუნებაზე და ნივთიერებაში არსებულ მინარევებზე, რომლებიც შთანთქავენ წარმოქმნილი ენერგიის ნაწილს.

ნატრიუმქლორიდის დამატება ამცირებს ქინაქინის ფლუორესცენციას. რიბოფლავინის ფლუორესცენციას აქრობს არომატული სპირტები; თიოქრომის ფლუორესცენციას აქრობს ქლორწყალბადმჟავა; ტუტის დამატება კი — პტერინების ფლუორესცენციას და სხვ.

ტემპერატურის აწევით ფლუორესცენციის ინტენსივობა მცირდება.

ფლუორესცენციის სპექტრი გამომწვევი სინათლის სპექტრთან შედარებით უფრო გრძელტალღოვანია (50—100 მ მიკ-ით) და წარმოქმნის გამოსხივების ფართო ზონებს 100—200 მ მიკ ფარგლებში.

ფლუორესცენციის სპექტრის ხასიათი და აქედან გამომდინარე ნაერთების ფერი სპეციფიკურია ნივთიერებებისათვის (ფლუოროქრომებისათვის), აქედან გამომდინარე ფლუორესცენცია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც თვისობრივი, აგრეთვე რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის.

ფლუოროომეტრიული ანალიზისათვის იყენებენ ელექტროფლუოროომეტრებს, რომლის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: სინათლე სინდიყკვარცის ნათურიდან პირველად შუქფილტრის გავლით ეცემა კიუვეტს, რომელშიც გამოსაკვლევი ხსნარია მოთავსებული, ეს უკანასკნელი იწყებს ფლუორესცირებას; წარმოქმნილი სინათლის ქვანტები მეორადი შუქფილტრის გავლით ეცემა ფოტოელემენტზე, რომელიც მგრძნობიარე გალვანომეტრთან არის შეერთებული და აღნიშნავს ფოტოელემენტზე მოხვედრილი სინათლის რაოდენობას.

რაოდენობითი ანალიზის ჩატარებისათვის შესადარ ხსნარად გამოყენებულ უნდა იქნეს ცნობილი კონცენტრაციის სტანდარტი გამოანგარიშება წარმოებს ფორმულით: $X = \frac{(n_1 - n_2)\, c}{n - n_2}$,

სადაც n_1—n_2 — ელექტროფლუოროომეტრის ჩვენებაა გამოსაკვლევი ხსნარისათვის;

$n - n_2$ — ჩვენება სტანდარტული ხსნარისათვის;
C — სტანდარტული ხსნარის კონცენტრაცია.

გამოანგარიშება შეიძლება ვაწარმოოთ საკალიბრო გრაფიკის გამოყენებითაც.

რადგან ფლუორესცენციის ინტენსივობა ნივთიერების კონცენტრაციის პროპორციულ დამოკიდებულებაში ჩვეულებრივ ვიწრო უბანშია, შეფარდება $\frac{n_1 - n_2}{n - n_2}$ უნდა იყოს არა ნაკლები 0,4 და არა უმეტესი 2,5-ისა.

მეთოდის ფარდობითი ცდომილება 2—5%-ს შეადგენს.

ელექტრომეტრიული მეთოდები

პოტენციომეტრია

პოტენციომეტრია ემყარება ხსნარის (ელემენტის) ელექტრომამოძრავებელი ძალის გაზომვას სპეციალური ელექტროდების გამოყენებით.

პოტენციომეტრიაში ძირითადად ორი მეთოდი განიხილება:

I პოტენციომეტრიული მეთოდით pH-ის განსაზღვრა;

II პოტენციომეტრიული ტიტვრა.

ელექტროდები, რომლებიც პოტენციომეტრიული განსაზღვრების დროს იხმარება, ორგვარია: ინდიკატორული, რომლის პოტენციალი დამოკიდებულია განსასაზღვრავ იონთა აქტივობაზე (pH-ის განსაზღვრის დროს წყალბადიონთა აქტიურობაზე), და შესადარი ელექტროდი — სტანდარტული ელექტროდი, რომლის ელექტრული პოტენციალი ცნობილია.

ფიზიკური ქიმიის კურსიდან ცნობილია, რომ მეტალის ჩაყურსვისას მისი მარილის ხსნარში (მაგალითად, ვერცხლის მავთულის ჩაყურსვის დროს ვერცხლის ნიტრატის ხსნარში) მეტალსა და ხსნარს შორის იქმნება პოტენციალთა სხვაობა, რომელსაც F ასოთი აღნიშნავენ. ამ შემთხვევაში პოტენციალთა სხვაობის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით: $E = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln a_M^{n+}$,

სადაც R — გაზის მუდმივია, T — აბსოლუტური ტემპერატურა — —273°, n—მეტალის ვალენტობა, F—ერთი გრამ-ეკვივალენტი იონის მუხტი (ფარადეის რიცხვი=96540 კულონს); a_M^{n+} — მეტალის ან წყალბადის იონის აქტივობა.

ნებისმიერი ელექტროდის პოტენციალი განისაზღვრება ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალით, რომელიც შედგება ნორმალური წყალბადის ელექტროდისა და გამოსაკვლევი ელექტროდისაგან. ცალკეული ელექტროდების პოტენციალთა სიდიდეს გამოთვლიან ტოლობით:

$$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln a_M^{n+},$$

სადაც F_0 — სტანდარტის პოტენციალია — წყალბადის ელექტროდი, ხოლო E — ელექტროდის პოტენციალი.

ტოლობაში მუდმივი სიდიდეების რიცხობრივი მაჩვენებლების ჩასმით მივიღებთ:

$$E = E_0 + 0{,}000198\, T \lg a_M^{n+},$$

ხოლო 25° ტემპერატურაზე —

$$E = E_0 + 0{,}059 \lg a_M^{n+}. \quad (1)$$

მეტალის იონის კონცენტრაციას ხსნარში (უფრო ხშირად აქტიურობას) a_M^{n+} ნაცვლად ზოგჯერ აღნიშნავენ $\frac{K}{[M^{n+}]}$, სადაც $[M^{n+}]$ მეტალის იონთა კონცენტრაციაა ხსნარში, ხოლო K — მოცემული ელექტროდის კონსტანტა.

თუ $[M^{n+}] = 1$, ე. ი. მეტალის მარილის ხსნარის კონცენტრაცია ლიტრში ერთი გრამ-იონის ტოლია, მაშინ $E = F_0$. ამგვარად, F_0 აღნიშნავს ელექტროდის პოტენციალს (ნახევარელემენტისა), რომელიც მას გააჩნია ხსნარში ერთი გრამიონი კონცენტრაციის (უფრო სწორად აქტიურობის) პირობებში. განსაზღვრა წარმოებს ნორმალური წყალბადის ელექტროდის პოტენციალთან შეფარდებით, რომელიც ნულის ტოლად არის მიღებული.

ასეთ პოტენციალს (F_0) უწოდებენ ნორმალურს მოცემული სისტემისათვის.

ტოლობა (1)-დან გამომდინარეობს, რომ ელექტროდის პოტენციალსა და იონის მაჩვენებელს pM^{n+} (სადაც $pM^{n+} = -\lg[M^{n+}]$) შორის არსებობს შემდეგი ფუნქციური დამოკიდებულება:

$$E = E_0 - \frac{0{,}059}{n}\, pM^{n+1} \qquad (2)$$

წყალბადის ელექტროდისათვის იგი შეადგენს $E = E_0H - 0{,}059\ pH^+$, ვერცხლის ელექტროდისათვის კი — $E = E_0Ag^+ - 0{,}059\ pAg^+$.

წყალბადის ან ვერცხლის იონთა კონცენტრაციის შეცვლით (იონთა მაჩვენებლის 10-ჯერ გაზრდით ან შემცირებით) შესაბამისი ელექტროდის პოტენციალი იცვლება 0,059 V-ით იონთა მაჩვენებლის ერთეულზე. მრავალვალენტიანი ელემენტების დროს პოტენციალის ცვლილება გამოისახება სიდიდით $\frac{0{,}059}{n}$ V.

მაშასადამე, ტოლობიდან (2) გამომდინარე, ელექტროდის პოტენციალის გაზომვით შეიძლება განისაზღვროს შესაბამისი იონის მაჩვენებლის სიდიდე, ე. ი. ელექტროდის პოტენციალი არის ხსნარში იონთა კონცენტრაციის ფუნქცია განსაზღვრულ პირობებში.

პოტენციომეტრია, როგორც რაოდენობრივი ანალიზის მეთოდი, სწორედ აღნიშნულ ფუნქციურ დამოკიდებულებას ემყარება.

pH-ის განსაზღვრა პოტენციომეტრიული მეთოდით

წყალბადის მაჩვენებლის — pH — განსაზღვრის ყველაზე ზუსტ ობიექტურ მეთოდს წარმოადგენს პოტენციომეტრიული მეთოდი, რის გამოც იგი ამჟამად ფართოდ გამოიყენება ანალიზურ ლაბორატორიებში. დიდი მნიშვნელობა pH-ის განსაზღვრას ენიჭება სამკურნალო პრეპარატების და წამლის ფორმების ანალიზის დროს, კერძოდ კი საინექციო ხსნარების კეთილხარისხოვნების დასადგენად. pH წარმოადგენს საინექციო ხსნარის ერთ-ერთ ძირითად დამახასიათებელ ფიზიკურ-ქიმიურ კონსტანტას.

pH-ის არსი წყალბადის მაჩვენებელი pH ეწოდება წყალბად-იონთა აქტიურობის უარყოფით ლოგარითმს $pH = -\lg a H^+$.

pH-ის სიდიდე გვიჩვენებს ხსნართა მჟავურ ან ფუძურ თვისებებს, ანუ წყალბადის და ჰიდროქსილ-იონთა კონცენტრაციას. იმისათვის, რომ უფრო გარკვეული იყოს pH-ის არსი და სიდიდე, საჭიროა მოვიგონოთ ისეთი სიდიდეები, როგორიცაა წყლის დისოციაციის კონსტანტა და იონური ნამრავლი, რადგან pH ძირითადად წყალხსნარებში ისაზღვრება.

ცნობილია, რომ წყლის დისოციაციის კონსტანტა

$$K = \frac{[H^+]\cdot[OH^-]}{[H_2O]} = 1{,}8\cdot 10^{-16}.$$

ამ ტოლობიდან შეიძლება წყლის იონური ნამრავლის გამოთვლა: $[H^+]\cdot[OH^-] = K\cdot[H_2O]$. ტოლობაში შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$[H^+]\cdot[OH^-] = 1{,}8\cdot 10^{-16}\cdot 55{,}56 = 10^{-14},$$

ე. ი. წყლის იონური ნამრავლი $[H^+]\cdot[OH^-] = 10^{-14}$.

აქედან გამომდინარე $[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]}$, ხოლო $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]}$, როდესაც $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$, მაშინ $pH = 7$.

უფრო მოხერხებულია გამოვიყენოთ სიდიდე წყალბადის მაჩვენებელი, რომელიც წარმოადგენს წყალბად-იონთა კონცენტრაციის უარყოფით მეათეულ ლოგარითმს.

აქედან გამომდინარე, წყალბადის მაჩვენებლის რიცხვითი მნიშვნელობა იცვლება 0 — 14-ის ფარგლებში.

როდესაც $[H^+] > 10^{-7}$, მაშინ $pH < 7$, ხოლო
როდესაც $[H^+] < 10^{-7}$, $pH > 7$.

არ შეიძლება ერთმანეთში ავურიოთ მჟავას კონცენტრაცია და pH.

აპარატები, ე. წ. pH-მეტრები, რომლებიც გამოიყენება წყალბადის მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის, არსებობს სხვადასხვა სისტემის. თანამედროვე კონსტრუქციის ხელსაწყოები საშუალებას იძლევა უშუალოდ ავითვალოთ ე. მ. ძ. ან pH-ის სიდიდეები, ხოლო უფრო სრულყოფილ აპარატებს აქვთ pH-ის ცვლილების დინამიკის ჩამწერი მოწყობილობა.

აპარატებიდან აღსანიშნავია შემდეგი:

1. პოტენციომეტრი მაღალმიანი ПВ-2 (ლენინგრადი). აპარატით შესაძლებელია როგორც pH-ის განსაზღვრა, აგრეთვე პოტენციომეტრიული ტიტვრის ჩატარება, იგი გამოირჩევა საკმაოდ დიდი სიზუსტით; ხელსაწყოს ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ არ არის მოწყობილი მინის ელექტროდის გამოყენებისათვის.

2. პოტენციომეტრი ЛП-5 (მოსკოვი), რომელსაც საკმაო სიზუსტესთან ერთად აქვს მინის ელექტროდი, აგრეთვე სკალა ე. მ. ძ. და pH-ის მნიშვნელობის უშუალო ათვლისთვის.

3. pH-მეტრი (გომელი) გამოსადეგია აგრეთვე პოტენციომეტრიული ტიტვრისათვის და, გარდა კალომელისა და მინის ელექტროდისა, აქვს პლატინის ელექტროდიც.

კარგი pH-მეტრი დაამზადა თბილისის საკონსტრუქტორო ბიურომ, რომელმაც წარმატებით ჩაბარა გამოცდა და ამჟამად სერიულად გამოდის.

საზღვარგარეთული აპარატებიდან ჩვენში შემოტანილია და ექსპლოატაციაშია ჩეხური pH-მეტრი — „აციდიმეტრი აკ" უნგრული pH-მ ე ტ რ ი და სხვ.

აპარატების მომზადება ექსპლოატაციისათვის ხდება ინსტრუქციების შესაბამისად, რომელიც თან ახლავს ხელსაწყოს, რადგან სხვადასხვა აპარატების ექსპლოატაციისათვის მომზადების ტექნიკა არსებითად განსხვავდება ურთიერთისაგან.

ელ ე ქ ტ რ ო დ ე ბ ი

წამალთა ანალიზის პრაქტიკაში წყალბადის მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის ლიტერატურაში აღწერილი ინდიკატორული ელექტროდებიდან გამოიყენება წყალბადის, ქინჰიდრონის და მინის ელექტროდები; შესადარ ელექტროდებად კი — კალომელის ან ვერცხლის ელექტროდი. თანამედროვე pH-მეტრებში ყველაზე ხშირად გამოყენებულია მინისა და კალომელის წყვილი ელექტროდი.

წ ყ ა ლ ბ ა დ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ი იძლევა ზედმიწევნით ზუსტ შედეგებს მთელი სკალის ფარგლებში (pH 1—14), გამორიცხულია მარილებით გამოწვეული შეცდომები და ამასთანავე სუსტი ელექტრონული წინაღობა გააჩნია. მაგრამ იგი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჟანგბადის და ჰაერის, დამჟანგველი და აღმდგენელი

ნივთიერებების თანაარსებობის პირობებში, საჭიროა წინასწარი შრომატევადი სამუშაოების ჩატარება აპარატურის მოსამზადებლად, კერძოდ, ელექტროდების მოპლატინება, წყალბადის მუდმივი ნაკადის არეში მუშაობა და სხვ. ამასთანავე ადგილი აქვს ელექტროდის მოპლატინებული ზედაპირის მოწამვლას ისეთი ნივთიერებებით, როგორიცაა არსენიკუმი, ციანიდები, ალკალოიდები და სხვ. აღნიშნული გარემოება მნიშვნელოვნად ზღუდავს წყალბადის ელექტროდის გამოყენებას წამალთა ანალიზში.

ქ ი ნ ჰ ი დ რ ო ნ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ი არ საჭიროებს წყალბადის არეს და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰაერის თანაარსებობისას; პოტენციალი სწრაფად მყარდება, მაგრამ მისი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ მჟავა არეში — pH-5-მდე. სუსტად დაბუფერებული ხსნარების ქინჰიდრონით გაჯერებამ შეიძლება გავლენა მოახდინოს ხსნარის pH-ზე. გარდა ამისა, ქინჰიდრონი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს უმრავლეს დამჟანგველ და აღმდგენელ ნივთიერებებთან.

მ ი ნ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ი რიგი უპირატესობით ხასიათდება. შესაძლებელია pH-ის განსაზღვრა დამჟანგველების, აღმდგენელების, სორბენტების, კოლოიდების, შხამების და სხვა ნივთიერებისა. ელექტრული პოტენციალი საკმაოდ სწრაფად მყარდება. მინის ელექტროდის ნაკლად უნდა ჩაითვალოს, რომ იგი ადვილად მსხვრევადია, ჰაერზე შენახვით იფიტება (შენახულ უნდა იქნეს გამოხდილ წყალში ჩაყურსული, ხოლო ხანგრძლივად შენახვისას დაიფაროს პარაფინით), გაზომვების დაწყების წინ საჭიროა დაკალიბრება ბუფერული ხსნარებით.

მინის ელექტროდით pH-ის განსაზღვრისათვის საჭიროა ზუსტი pH-ის მქონე ბუფერული ხსნარების სერია (ბუფერული ხსნარების მომზადება იხ. გვ. 133).

კ ა ლ ო მ ე ლ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ი წარმოადგენს შესადარ ელექტროდს. იგი წრედის ნახევარელემენტია და მზადდება: ნაჯერი, ნორმალური და 0,1 ნორმალური.

ქინჰიდრონის ელექტროდით pH-ის განსაზღვრისათვის შემდეგნაირად იქცევიან. გამოსაკვლევ ხსნარს ასხამენ მცირე ზომის ჭიქაში, უმატებენ რამდენიმე ცენტიგრამ ქინჰიდრონს, ქმნიან წრედს

პლატინის ელექტროდისა და კალომელის ელექტროდისაგან და ზომავენ წრედის ე. მ. ძ., რის შემდეგ pH-ს ანგარიშობენ ერთ-ერთი ფორმულით, იმისდა მიხედვით, თუ კალომელის როგორი ელექტროდი იყო გამოყენებული:

$$pH = \frac{0{,}4541 - 0{,}00033\ (t-18) - E\ \text{ნაჯ.}}{0{,}0577 + 0{,}0002\ (t-18)}$$

$$pH = \frac{0{,}4181 - 0{,}0005\ (t-18) - E\ \text{ნ}}{0{,}0577 + 0{,}0002\ (t-18)}$$

$$pH = \frac{0{,}3665 - 0{,}00068\ (t-18) - E\ 0{,}1\ \text{ნ}}{0{,}0577 + 0.0002\ (t-18)}$$

ბოლო ხანებში მცირე რაოდენობის გამოსაკვლევ ობიექტებში, განსაკუთრებით ბიოლოგიურ მასალაში, სისხლში და ზოგიერთ ორგანოებში pH-ის განსაზღვრისათვის გამოიყენება კომბინირებული ელექტროდი (მინა-კალომელი).

სხვადასხვა ბუფერული ხსნარებით pH-მეტრის შემოწმებისას ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 0,04 pH ერთეულს. თუ საკონტროლი ბუფერული ხსნარებით pH-მეტრის სკალის დაკალიბრებისას ცდომილება უმნიშვნელოა, აპარატის შემოწმება საკმარისია მოხდეს ერთ-ერთ ბუფერულ ხსნარზე, რომლის pH უახლოვდება გამოსაკვლევი ხსნარისას. თუ გამოსაკვლევი ხსნარების pH იცვლება დიდ ინტერვალში (მაგალითად, 5—10-მდე), შემოწმება უნდა მოხდეს ორ სტანდარტულ ბუფერზე pH-ით — 4,00 და 9,21.

გამოსაკვლევი ხსნარების pH-ის განსაზღვრის დროს სკალაზე ანათვალს ვიწერთ მხოლოდ იმის შემდეგ, როდესაც მაჩვენებელი აღარ იცვლება. ჩვენების დადგენის დრო დამოკიდებულია გამოსაკვლევი ხსნარის ბუფერულ თვისებასა და ხსნარის ტემპერატურაზე; ჩვეულებრივ ეს დრო ორ წუთს არ უნდა აღემატებოდეს. მაჩვენებელი ითვლება სარწმუნოდ, როდესაც ვაღწევთ განმეორებით შედეგებს დასაშვები სიზუსტის ფარგლებში. ძლიერი მჟავა და ფუძე ხსნარების pH-ის განსაზღვრისას, მცირე ბუფერული თვისების სითხეთა შემოწმებისას (მაგალითად, გამოხდილი წყალი) და 0° ტემპერატურის ახლოს გაზომვებისას მაჩვენებლის დადგენის დრო შეიძლება რამდენიმე წუთს გაგრძელდეს. pH-ის გაზომვა ხდება 3—5-ჯერ და გამოიანგარიშება საშუალო.

ბუფერული ხსნარები

როგორც აღვნიშნეთ, pH-ის განსაზღვრისას პოტენციომეტრიული და აგრეთვე კოლორიმეტრიული მეთოდით, რომელსაც ჩვენ ქვემოთ განვიხილავთ, საჭიროა ზუსტი pH-ის მქონე ბუფერული ხსნარების სერია. ნივთიერებანი, რომლებიც გამოიყენება ბუფერული ხსნარების მოსამზადებლად, უნდა იყოს მდგრადი და ადვილად მისაღები სუფთა სახით. ამ ნივთიერებათა ხსნარებს უნდა გააჩნდეს მაღალი ბუფერული ტევადობა, არ უნდა იცვლებოდეს შენახვისას და ჰქონდეს მცირე ტემპერატურული კოეფიციენტი.

ცხრილში მოყვანილია ნივთიერებათა ხსნარები, რომელნიც გამოყენებულია სტანდარტულ ბუფერულ ხსნარებად pH-ის განსაზღვრისას, და ამ ხსნართა pH-ის დამოკიდებულება ტემპერატურასთან.

ცხრილი 26

ხსნარის PH ტემპერატურასთან დაკავშირებით

	ხსნარების დასახელება	10°	20°	25°	30°	40°	50°	60°
1	კალიუმტეტრაოქსალატის 0,05 მოლ ხსნარი	1,67	1,68	1,68	1.69	1,70	1,71	1,73
2	კალიუმჰიდროტარტრატის მაძღარი ხსნარი 25°			3,56	3,55	3,54	3,55	3,57
3	კალიუმჰიდროფტალატის 0,05 მოლხსნარი	4.00	4,00	4,01	4,01	4,03	4,06	4,10
4	კალიუმჰიდროფოსფატის 0,025 მოლ ხსნარი+ნატრიუმ ჰიდროფოსფატის 0,025 მოლ ხსნარი	6,92	6,88	6,86	6,84	6,84	6,83	6,84
5	ბორაქსი 0,01 მოლ ხსნარი			9,18	9,14	9,07	9,01	8,96
6	კალციუმის ჰიდროჟანგის მაძღარი ხსნარი 25°	9,33	9,22	12.45	12,30	11,99	11,7	

პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით და pH-ის ფართო დიაპაზონით გამოირჩევა უნივერსალური ბუფერული ნარევების რიგი ბრიტონისა და რიბინსონის მიხედვით, რომელიც მოიცავს pH-ის სკალას 1,81-დან 11,98-მდე.

საჭირო რეაქტივები: 1) ფოსფორმჟავას 0,4 მოლ ხსნარი, 2) ძმარმჟავას 0,4 მოლ ხსნარი, 3) ბორმჟავას 0,4 მოლ ხსნარი; ამ ხსნარების 10—10 მლ ათავსებენ 10 მლ გამზომ კოლბაში და შეავსებენ გამოხდილ წყლით 100 მლ-მდე (ხსნარი ა). 4) მწვავე ნატრიუმის 0,26 ხსნარი.

100 მლ ა ხსნარისა საჭიროებს დაემატოს 0,2 ნ მწვავე ნატრიუმის ხსნარის მლ, რომ მივიღოთ ხსნარი pH-ით.

ცხრილი 27

მწვავე ნატრიუმის 0,2 ნ ხსნარის მლ რაოდენობა	pH	მწვავე ნატრიუმის 0,2 ნ ხსნარის მლ რაოდენობა	pH	მწვავე ნატრიუმის 0,2 ნ ხსნარის მლ რაოდენობა	pH
0	1,81	37,5	5,33	72,5	9,37
2.5	1,89	40,0	5,72	75,0	9,62
5	1,98	42,5	6,09	77,5	9,91
7,5	2,09	45,0	6,37	80,0	10,38
				82,5	10,88
10,0	2,21	47,5	6,59	85,0	11,20
12,5	2,36				
13,0	2,56	50,0	6,80	87,5	11,40
17,5	2,87	52,5	7,00	90,0	11,38
20,0	3,29	55,0	7,24	92,5	11,70
2[illegible],5	3,78	57,5	7,54	95,0	11,82
25,0	4,10	60,0	7,96	97,5	11,92
27,5	4,35	62,5	8,36	100,0	11,98
30,0	4,56	65,0	8,69		
32,5	4,78	67,5	8,95		
35,0	5,02	70,0	9,15		

სხვა ბუფერული ხსნარების შესახებ იხილეთ ქიმიკოსის ცნობარი.

ბუფერული ხსნარების მოსამზადებლად აღებული უნდა იქნეს რეაქტივი pH-მეტრისათვის — „ГОСТ 1017—52". შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე რეაქტივები კვალიფიკაციით „Хч" და „чДА".

გამოხდილი წყალი ბუფერულ ხსნართა მოსამზადებლად წინასწარ საჭიროებს წამოდუღებას 5 წუთით გახსნილი ნახშირორჟანგის მოსაცილებლად, გამოხდილი წყლის pH 5,8—7,0 ფარგლებში უნდა იყოს.

უწყლო ან შერეულ გამხსნელთა pH-ის გაზომვას წყალხსნარ-ბუფერულ სტანდარტებთან შეფარდებით მხოლოდ პირობითი მნიშვნელობა აქვს.

პოტენციომეტრიული ტიტვრა

მოცულობითი მეთოდით საანალიზო ნივთიერებათა რაოდენობრივი განსაზღვრის დროს ეკვივალენტობის წერტილი აღინიშნება ამა თუ იმ ინდიკატორის ფერის ცვლილებებით. ზოგიერთ შემთხვევაში გამოსაკვლევი ხსნარის ფერის შეცვლა ხდება სპეციალური ინდიკატორის გარეშე, ეკვივალენტობის წერტილში მორეაგირე ნივთიერებათა მთლიანად შებმის შედეგად ან ტიტრიანი ხსნარის სიჭარბით, მაგალითად, პერმანგანომეტრიის დროს და სხვა. ანალიზის პრაქტიკაში ასეთი მიდგომით რიგ შემთხვევებში ვერ ვაღწევთ სასურველ შედეგებს, კერძოდ, შეფერილი ხსნარების გამოკვლევის დროს, როდესაც ინდიკატორის ფერის ცვლილება არ არის მკვეთრი და, გამომდინარე აქედან, მიღებული შედეგები ნაკლებ ზუსტია. ზოგიერთი რეაქციებისათვის არ არის შესაფერისი ინდიკატორები, მაგალითად, ამონიუმის ოქსალატით კალციუმის დალექვის რეაქცია ან ბარიუმის სულფატის დალექვის რეაქცია, რის გამოც აღნიშნული რეაქციები გამოუსადეგარია მოცულობითი განსაზღვრის დროს. ასეთ შემთხვევებში სარგებლობენ ელექტრომეტრიული მეთოდებით (პოტენციომეტრია, კონდუქტომეტრია და სხვ.).

პ ო ტ ე ნ ც ი ო მ ე ტ რ ი უ ლ ი ტ ი ტ ვ რ ა ემყარება იმას, რომ ელექტროდი ჩაყურსული გასატიტრ სითხეში პოტენციომეტრის წრედით შეერთებულია რომელიმე შესადარ ელექტროდთან, მაგალითად, კალომელის ელექტროდთან. სითხეს უმატებენ ტიტრიან ხსნარს ულუფებით, ურევენ და პარალელურად ზომავენ წრედის ე. მ. ძ., მიღებული მონაცემებისაგან (ე. მ. ძ. და მიმატებული ტიტრიანი ხსნარის მლ რაოდენობა) აგებენ გრაფიკს $\frac{E}{ml}$ ან ადგენენ ცხრილს. დასაწყისში ტიტრიან ხსნარს უმატებენ დიდი ულუფებით, ეკვივალენტური წერტილის ახლოს კი —0,2—0,1 —0,05 მლ მოცულობით. ყველაზე მკვეთრი სხვაობა ელექტრული პოტენციალისა აღინიშნება ეკვივალენტურ წერტილში, ეს ნათლად ჩანს გრაფიკზე

ან ცხრილში. უფრო თვალსაჩინო და მოხერხებულია გრაფიკის აგება ეკვივალენტური წერტილის ახლოს შეფარდებისა $\frac{\Delta E}{\Delta C}$ სადაც ე. მ. ძ. სხვაობაა, ხოლო ΔC — უკანასკნელად დამატებული ტიტრიანი ხსნარის მოცულობა მლ-ში. ამ გრაფიკის მაქსიმუმი გვიჩვენებს ეკვივალენტურ წერტილს.

პრაქტიკულად არ არის აუცილებელი გრაფიკის აგება. ჩვეულებრივ, ეკვივალენტურ წერტილს ადგენენ $\frac{\Delta E}{\Delta C}$ მაქსიმუმით, ეკვივალენტური წერტილის ახლოს ტიტრიანი ხსნარის ტოლი მოცულობათა ულუფების დამატებით (ცხრილი 28).

ცხრილი 28

ნატრიუმ-თეობრომინატის ტიტვრა ვერცხლის ნიტრატით

მლ. რაოდენობა	E	$\frac{\Delta E}{\Delta C}$	მეორე სხვაობანი
9,4	441		
9,6	432	45	
9,8	422	50	
10,0	409	55	
10,2	365	220	
10,4	293	360	—140
10,6	238	275	+ 85
10,8	187	255	
11,0	169	90	
11,2	156	65	

ელექტრული პოტენციალის ცვლილების მაქსიმუმი — $\frac{\Delta E}{\Delta C}$ მდებარეობს 10,2 და 10,4 მლ შორის. მეორე სხვაობანი ამ ინტერვალში ტოლია — 140 და +85. გატიტვრაზე დახარჯულ მლ რაოდენობას ანგარიშობენ შემდეგნაირად:

$$10{,}2 + \frac{0{,}2 \cdot 140}{(140+85)} = 10{,}32 \text{ მლ.}$$

გამოსაკვლევი ნივთიერების რაოდენობის გამოანგარიშება ხდება ჩვეულებრივ.

პოტენციომეტრიული ტიტვრის არაკომპენსაციური ვარიანტებიდან საყურადღებოა ეკვივალენტური წერტილის განსაზღვრა დენის სრული შეწყვეტით — ე. წ. სრული გაჩერების მეთოდი — „dead Stop“ (ფოუკლი და ბოუდენი — 1926), რომელსაც იყენებს ბრიტანეთის ფარმაკოპეა.

მეთოდი დამყარებულია იმაზე, რომ გამოსაკვლევ ხსნარში ჩაშვებულია პლატინის ორი ელექტროდი, მათზე მოდებულია დაბალი ძაბვის ე. მ. ძ. — 15—30 მვ რიგისა, რომელიც უნდა კომპენსირდებოდეს შექცევადი პოლარიზაციის ე. მ. ძ. წრედში. ჩართული გალვანომეტრი დასაწყისში არ გვიჩვენებს გადახრას, რადგან წრედში დენი არ გადის. ტიტვრის მთელ პერიოდში გალვანომეტრის ისარი, რომელიც გადაიხრება ტიტრიანი ხსნარის ყოველი ულუფის დამატების შემდეგ, ისევ უბრუნდება საწყის მდგომარეობას.

ეკვივალენტურ წერტილში ისარი მკვეთრად გადაიხრება და 2—3 წუთის განმავლობაში არ იცვლება.

სხვა შემთხვევაში ერთ-ერთი ჩაყურსული ელექტროდი რჩება დეპოლარიზებული ტიტვრის პერიოდში და მისი პოლარიზაცია ხდება მხოლოდ ეკვივალენტურ წერტილში, ტიტრიანი ხსნარის უმნიშვნელო სიჭარბის პირობებში. ამგვარი ტიტვრის მთელ პერიოდში წრედში გადის დენი, ხოლო ბოლო წერტილში ადგილი აქვს მის მთლიან შეწყვეტას, რაც გალვანომეტრით მყღავნდება.

პოტენციომეტრიული ტიტვრისათვის გამოიყენება აპარატები, რომლებიც განვიხილეთ pH-ის განსაზღვრის დროს. აგრეთვე სარგებლობენ პინკგოფის მიერ მოწოდებული მარტივი აპარატით (ნახ. 28).

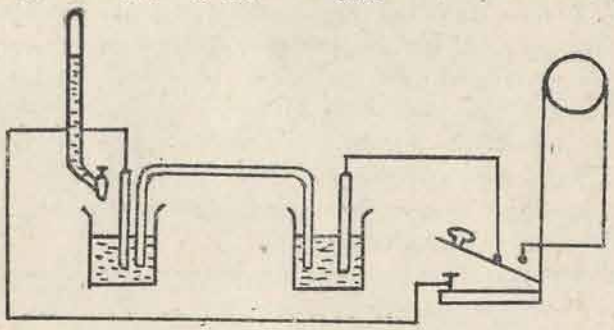
ფარმაცევტული პრეპარატების ანალიზში ხშირად სარგებლობენ პოტენციომეტრიული ტიტვრის არაკომპენსაციური მეთოდით.

პოტენციომეტრიული ტიტვრის მეთოდით სარგებლობენ ნეიტრალიზაციის, დალექვის, ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციების, კომპლექსონომეტრიის, უწყლო არეში ტიტვრის და სხვა შემთხვევებში.

მჟავებისა და ფუძეების ტიტვრა შეფერილ ხსნარებში. ჭიქაში, რომელშიც მოთავსებულია გასატიტრი ხსნარი, ჩაშვებულ იქნეს მინის და კალომელის წყვილი ელექტროდი. ჭიქა დაიდგას ელექტრომაგნიტურ სარეველზე, ტიტვრა წარი-

მართოს ისე, როგორც ზემოთ არის აღწერილი და აგებულ იქნეს გრაფიკი (ან ცხრილი).

უფრო ხშირად სარგებლობენ ქვემოთ აღწერილი მეთოდით. გამოსაკვლევ ხსნარს იყენებენ ერთ-ერთ ნახევარელემენტად, რომელიც აგარის ხიდაკით შერთებულია ნეიტრალური მარილის ხსნართან, როგორიც უნდა წარმოიქმნას გატიტვრის შედეგად. ასე მაგალითად, ძმარმჟავას ტიტვრისას ტუტის 0,1 ნ ხსნარით შესადარ



ნახ. 28. პინკგოფ-ტრედველის დანადგარის სქემა

ელექტროდში ათავსებენ ნატრიუმაცეტატის 0,1 ნ ხსნარს. ელექტროდები პლატინისაა, ქინჰიდრონთან. ამ დროს შეიძლება განსაზღვრა ჩატარდეს პოტენციომეტრის გარეშე, თუ ელექტროდებს უშუალოდ შევუერთებთ ნულინსტრუმენტთან წინააღმდეგობათა ყუთის გავლით. ტიტვრის დაბოლოება აღინიშნება გალვანომეტრზე ისრის მიმართულების შეცვლით.

ალკალოიდების და ამინების ტიტვრისას შესადარი ელექტროდის შერჩევა უფრო ძნელია, მაგრამ ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ უკუტიტვრის მეთოდი, ე. ი. ფუძეს ჯერ დავუმატოთ ჭარბი 0,1 ნ ქლორწყალბადმჟავა, ხოლო ჭარბად დარჩენილი მჟავა გავტიტროთ მწვავე ნატრიუმის 0,1 ნ ხსნარით. ამ დროს შესადარ ელექტროდში უნდა მოთავსდეს ნატრიუმის ქლორიდის 0,1 ნ ხსნარი.

ჰ ა ლ ო გ ე ნ ი დ ე ბ ი ს ტ ი ტ ვ რ ა. ქლორიდების, ბრომიდების და იოდიდების ტიტვრის დროს 0,1 ნ ვერცხლის ნიტრატით, ვერცხლის ელექტროდებით (სუფთა ვერცხლის მავთული) შესადარ ელექტროდში უნდა გვქონდეს ვერცხლის ქლორიდის, ბრომიდის

და იოდიდის ნაჯერი ხსნარი. ამ შემთხვევაში აგარის ხიდაკს ამზადებენ არა კალიუმის ქლორიდთან, არამედ კალიუმის ნიტრატთან.

ჰალოგენიდების ტიტვრისათვის სარგებლობენ პოტენციომეტრით და აითვლიან პოტენციალთა სხვაობის ცვლილებას. ამ დროს უფრო მოხერხებულია აგებულ იქნეს გრაფიკი მილიმეტრებიან ქაღალდზე.

რადგან ვერცხლის ჰალოგენიდებს ხსნადობის იონური ნამრავლის განსხვავებული სიდიდეები აქვს, გრაფიკზე ე. მ. ძ. მკვეთრი ცვლილება (ორდინატისადმი მრუდის გადახრა) გვიჩვენებს თითოეული მათგანის სრულ დალექვას. მაგალითად, როდესაც გამოსაკვლევი ხსნარი შეიცავს იოდიდის, ბრომიდის და ქლორიდის ნარევს, ტიტვრის გრაფიკზე სამი პლატი გამოისახება: პირველი მათგანი შეესაბამება იოდიდს და პოტენციალის მკვეთრ ცვლილებამდე დამატებული 0,1 ნ ვერცხლის ნიტრატი იოდიდის რაოდენობას გვიჩვენებს, მეორე — ბრომიდისას, ხოლო მესამე — ქლორიდისას.

ა ლ კ ა ლ ო ი დ თ ა მ ა რ ი ლ ე ბ ი ს ტ ი ტ ვ რ ა ემყარება ალკალიმეტრიას, რადგან ისინი წარმოადგენენ სუსტი ფუძისა და ძლიერი მჟავას მარილებს. ელექტროდები შერჩეულ უნდა იქნეს შესაბამისი პირობებისათვის. პოტენციომეტრიული ტიტვრის უპირატესობა ამ შემთხვევაში იმაში მდგომარეობს, რომ საკმაო სიზუსტით შეიძლება განისაზღვროს ალკალოიდის ის რაოდენობა, რომელიც წამლის შემადგენლობაში შედის.

პოტენციომეტრიულად შეიძლება გაიტიტროს ისეთი სუსტი მჟავები, როგორიცაა ბარბიტურის მჟავას პრეპარატები, სულფანილამიდები და სხვ. რიგი პრეპარატების განსაზღვრა ემყარება ჟანგვა-აღდგენის რეაქციებს, მაგალითად, არომატული ამინების ტიტრვა დიაზორეაქციაზე დამყარებით და სხვ. ბოლო ხანებში დამუშავებულ იქნა რიგი მეთოდები უწყლო არეში პოტენციომეტრიული ტიტვრით პრეპარატების რაოდენობის განსაზღვრისა.

pH-ის განსაზღვრა კოლორიმეტრიული მეთოდით

კოლორიმეტრიული მეთოდით pH-ის განსაზღვრა დამყარებულია ინდიკატორთა თვისებაზე — შეიცვალოს ფერი წყალბადიონთა აქტიურობით pH-ის გარკვეულ ინტერვალში.

კოლორიმეტრიული მეთოდით pH-ის განსაზღვრისათვის გამოიყენება ინდიკატორები, რომლითაც სარგებლობენ აციდიმეტრიისა და ალკალიმეტრიის დროს.

ეს ინდიკატორები წარმოადგენენ სუსტ მჟავას ან ფუძეს, რომელთა მოლეკულური და იონური ფორმები შეფერილია სხვადასხვა ფერად. ისინი განიცდიან დისოციაციას:

$$HJnd \rightleftarrows H^+ + Jnd^- \qquad (1)$$

ამ ტოლობისათვის მოქმედ მასათა კანონის მიყენებით, მივიღებთ:

$$KHJnd = \frac{[H^+]\cdot[Jnd^-]}{[HJnd]} \qquad (2)$$

ან

$$pKHJnd = pH + \lg\frac{[HJnd]}{[Jnd^-]},$$

სადაც

$$pKJnd = -\lg KHJnd$$

ძლიერ მჟავა არეში, სადაც $[H^+] > KHJnd$ ინდიკატორი მოლეკულურ ფორმაშია, ხსნარს აქვს ინდიკატორის მოლეკულური ფორმის შესაფერისი ფერი. წყალბად-იონთა კონცენტრაციის შემცირებისას, ტოლობის (2) თანახმად, ინდიკატორის იონური ფორმის კონცენტრაცია (Jnd^-) იზრდება მხოლოდ განსაზღვრულ ფარგლებში. ეს ზრდა არ ცვლის ხსნარის ფერს, რადგან ინდიკატორი ჯერჯერობით უმთავრესად მოლეკულურ ფორმაში რჩება. ცდებით დადგენილია, რომ თვალისათვის შესამჩნევი ხდება ფერის ცვალებადობა, თუ მოცემულ შეფერვასთან ხსნარში არის 10% სხვა შეფერვის ნივთიერება.

10% იონური ფორმის წარმოქმნას ხსნარში ადგილი ექნება ხსნარის მჟავობის შესაბამისად

$$pH = pKHJnd - \lg\frac{[HJnd]}{[Jnd^-]} = pKHJnd - \lg\frac{90}{10} \approx$$

$$\approx pKHJnd - \lg\frac{100}{10} = pKHJnd + 1$$

pH-ის შემდგომი გაზრდით ხსნარში ინდიკატორის იონური ფორმის კონცენტრაცია თანდათანობით იზრდება და შემდეგ იმდენად მცირდება მოლეკულური ფორმა, რომ აღარც შეიმჩნევა (ფერი იცვლება). ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად, როდესაც $pH = pKH Jnd + 1$ ინდიკატორის მოლეკულური ფორმის შემცველობა საერთო რაოდენობიდან შეადგენს 10%, pH-ის შემდგომი გაზრდით ხსნარის ფერი მნიშვნელოვნად არ იცვლება.

ინდიკატორის ფერის ცვლილების საგრძნობი საზღვრები, pH-ის ერთეულებში გამოსახული, დაახლოებით ასეთ ინტერვალს შეესაბამება $pH = pKHJnd \pm 1$

ამ სფეროს ინდიკატორის გადასვლის ინტერვალს უწოდებენ. 29-ე ცხრილში მოყვანილია pK-ის მნიშვნელობა და ინდიკატორთა გადასვლის pH ინტერვალი.

ცხრილი 29

ინდიკატორთა ფერის გადასვლა pH-ის ინტერვალში

ინდიკატორის დასახელება	pK	გადასვლის ინტერვალი pH	ფერი
ბრომფენოლ ლურჯი	4,06	3,0—4,6	ყვითელი — ლურჯი
მეთილ წითელი	4,96	4,2—6,3	წითელი — ყვითელი
ბრომკრეზოლ ალისფერი . . .	6,26	5,2—6,8	ყვითელი — ალისფერი (ძოწი)
ფენოლ წითელი	7,72	6,8—8,4	ყვითელი — წითელი
კრეზოლ წითელი	8,08	7,2—8,8	ყვითელი — წითელი
თიმოლ ლურჯი	8.82	1,2—2,8 8,9—9,9	ყვითელი — ლურჯი

უფერო და გამჭვირვალე ხსნარებში pH შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს უნივერსალური ინდიკატორით, რომელიც მიიღება მეთილ წითელის (5 მლ), ფენოლფტალეინის, ბრომთიმოლლურჯის, თიმოლფტალეინის (0,1%) სპირტიანი ხსნარების (20—20 მლ) და მეთილორანჟის 0,1% წყლიანი ხსნარის (15 მლ) შერევით.

უნივერსალური ინდიკატორით წინასწარ საზღვრავენ ხსნარის pH-ს მიახლოებით. ამისათვის გამოსაკვლევი ხსნარის 2 მლ ფაიფურის პატარა ფინჯანზე უმატებენ ხუთ წვეთ უნივერსალურ ინდი-

კატორს და მიღებულ ფერს ადარებენ სტანდარტულ ფერად შკალას, სადაც გარკვეულ ფერს pH შესაბამება. უფრო მოხერხებულობისათვის ამჟამად გამოშვებულია ინდიკატორიანი ქაღალდები (ქაღალდი გაჟღენთილი უნივერსალური ინდიკატორით), რომელსაც, მსგავსად ლაკმუსის ქაღალდისა, ასველებენ გამოსაკვლევ ხსნარში, მიღებულ შეფერვას ადარებენ pH-ის ფერად სკალასთან, რომელიც თან ახლავს ინდიკატორიან ქაღალდს. დღეისათვის ასეთი ინდიკატორიანი ქაღალდის დიდი ასორტიმენტი გამოდის როგორც ჩვენში, ასევე საზღვარგარეთ.

მიახლოებით pH-ის განსაზღვრის შემდეგ ზემოთ აღნიშნული ხერხებით ახდენენ მის დაზუსტებას ბუფერული ხსნარების დახმარებით. ამისათვის pH-ის დაახლოებითი გაზომვის სფეროში იღებენ 5—6 ბუფერულ ხსნარს, რომელთა pH ერთიმეორისაგან განსხვავდება 0,2 ერთეულით, ე. ი. ამზადებენ ბუფერულ ხსნართა რიგს. ერთ სინჯარაში ათავსებენ გამოსაკვლევი ხსნარის 10 მლ, ხოლო სხვებში — აღნიშნულ ბუფერულ ხსნარებს. ყველა სინჯარას უმატებენ 2—3 წვეთ ინდიკატორის ხსნარს და მიღებულ შეფერადებას ადარებენ ბუფერულ ხსნართა ფერს, გამოსაკვლევი ხსნარის pH იქნება ისეთი, როგორი pH-ის ბუფერულ ხსნარსაც დაემთხვევა შეფერვით, ინდიკატორის კონცენტრაცია ბუფერში და გამოსაკვლევ ხსნარში თანაბარი უნდა იყოს.

პოლაროგრაფია

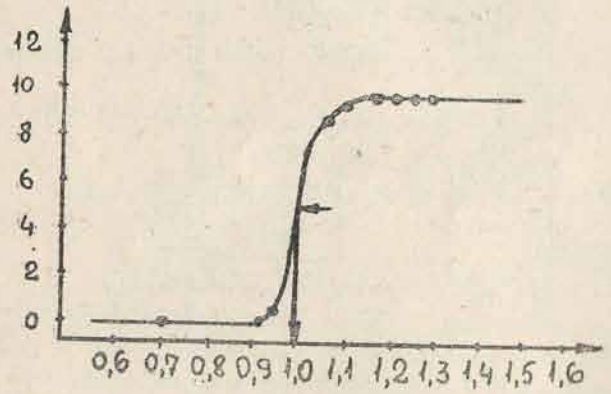
ანალიზის პოლაროგრაფიული მეთოდი მოწოდებულ იქნა იაროსლავ გეიროვსკის მიერ 1922 წელს. მეთოდი სწრაფად განვითარდა და დიდი გამოყენება აქვს არაორგანული, ორგანული და ბიოქიმიის თეორიული და პრაქტიკული პრობლემების გადაწყვეტაში. ამ მეთოდმა პრაქტიკული გამოყენება ჰპოვა წამალთა ანალიზში.

პოლაროგრაფიული ეწოდება ანალიზის მეთოდს, რომელიც სინდიყის (ან სხვა) კათოდზე უწყვეტად მიმდინარე პოლარიზაციის მოვლენას იყენებს ანალიზური მიზნებისათვის.

ი. გეიროვსკისა და სხვების მიერ კონსტრუირებულ იქნა ხელსაწყო, ე. წ. პოლაროგრაფი, რომლითაც წარმოებს დენის ძალის ძაბვასთან დამოკიდებულების ჩაწერა. ამ ხელსაწყოში კათოდად გამოიყენება ვერცხლისწყლის მწვეთავი ელექტროდი, ანოდად კი — ვერცხლისწყლის დიდი ზედაპირი. კათოდზე ვერცხლისწყლის მცირე ზედაპირის გამო დენის სიმკვრივე ძლიერ დიდია, ანოდზე კი — ძლიერ მცირე. ამიტომ ხსნარში დენის გატარების დროს მასზე მიყენებული ძაბვა (F) ძირითადად იხარჯება კათოდის პოლარიზაციაზე, ანოდი პოლარიზაციას არ განიცდის.

პოლაროგრაფია ანალიზის ელექტროქიმიური მეთოდია, დამყარებული დენის სიდიდის გაზომვაზე, რომელიც წარმოიქმნება მიკროელექტროდებზე ნივთიერების ელექტროაღდგენის ან ელექტროდაჟანგვისას.

გამოსაკვლევი ნივთიერების ელექტროლიზის შედეგად გამოყოფილი დენის სიდიდის დამოკიდებულება მიღებულ ძაბვასთან გამოისახება ვოლტამპერული მრუდით, რასაც „პოლაროგრაფიულ ტალღას“ უწოდებენ (ნახ. 29).



ნახ. 29. პოლაროგრაფიული ტალღა

ვოლტამპერული მრუდი გვაძლევს გამოსაკვლევი ნივთიერების თვისობრივ და რაოდენობრივ დახასიათებას.

ელექტროლიზი ტარდება სპეციალურ ელექტროლიზერში, რომელშიც კათოდს წარმოადგენს სინდიყის მწვეთავი ელექტროდი, ხოლო ანოდს — სინდიყის დიდი ზედაპირი.

ელექტროდებზე მუდმივად მზარდი ძაბვის მოდებით ელექტროლიზის დაწყებამდე ვოლტამპერული მრუდი გვიჩვენებს დენის უმნიშვნელო ზრდას, ე. წ. ნარჩენს. საანალიზო ნივთიერების აღდგენის პოტენციალის მიღწევისას აღინიშნება დენის მკვეთრი ზრდა დენის სიდიდე თავის ზღვრულ მნიშვნელობას (ზღვრული დენი) აღწევს მაშინ, როდესაც მყარდება წონასწორობა ნივთიერების კონცენტრაციას შორის, რომელიც აღდგება ელექტროდის ზედაპირზე, და ელექტროდის ფენაში კონცენტრაციას შორის ძირითადი ხსნარიდან ნივთიერების ლიმიტირებული დიფუზიის გამო.

კათოდზე ნივთიერება დიფუზიის გარდა შეიძლება მოხვდეს ელექტრული ველის ძალის მიგრაციის გავლენის ქვეშ. დიფუზიით და მიგრაციით გამოწვეულ დენს შესაბამისად უწოდებენ დიფუზურს და მიგრაციულს.

დიფუზური დენი ხასიათდება ილკოვიჩის ტოლობით:

$$Jd = 607\ n D^{1/2} C m^{2/3} \tau^{1/6}, \qquad (1)$$

სადაც Jd — საშუალო დიფუზური დენის სიდიდეა მიკროამპერებში;

n — ელექტრონების რიცხვი, რომლებიც მონაწილეობენ ელექტროდულ რეაქციებში;

D — დიფუზიის კოეფიციენტი სმ²/წმ-ში;

m — კაპილარიდან ჩამონაწვეთი სინდიყის რაოდენობა მგ/წმ-ში;

τ — ერთი წვეთის წარმოქმნის დრო წამებში;

C — განსასაზღვრავი ნივთიერების კონცენტრაცია მ მოლ/ლ.

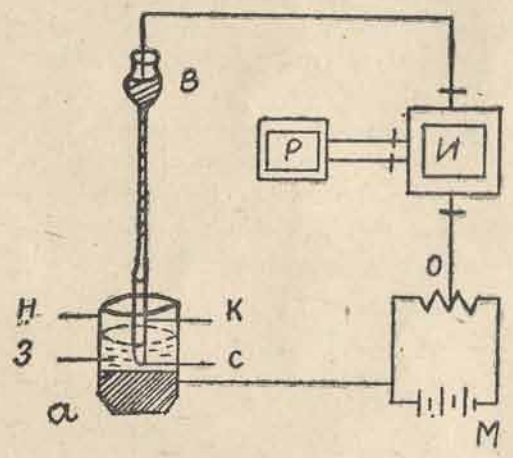
აღნიშნული სიდიდეებიდან m, τ და ნაწილობრივ D ტემპერატურის ფუნქციას წარმოადგენს, ხოლო τ და m დამახასიათებელია აგრეთვე ელექტროდისთვისაც.

ტოლობიდან (1) ჩანს, რომ საშუალო დიფუზური დენი პირდაპირპროპორციულია გამოსაკვლევ სინჯში ნივთიერების კონცენტრაციისა და აგრეთვე დამოკიდებულია ტემპერატურისა და კაპილარის პარამეტრებზე. კაპილარს უნდა ჰქონდეს დიამეტრი 0,3—0,05 მმ, სიგრძე — 6—8 სმ.

პოლაროგრაფირებულ ნივთიერებათა თვისობრივ დამახასიათებელს წარმოადგენს სიდიდე ე. წ. ნახევარტალღის პერიოდი — $F^{1/2}$

(ნახ. 30). ნახევარტალღის პოტენციალს უწოდებენ პოლაროგრაფიული ტალღის პოტენციალის ნახევარს, რომლის სიდიდე არ არის დამოკიდებული აღსადგენი იონის კონცენტრაციაზე და დამოკიდებულია მხოლოდ მის ბუნებაზე. იგი არ არის დამოკიდებული აგრეთვე სინდიყის მწვეთავი კათოდის კაპილარის დიამეტრზე და წვეთის ჩამოვარდნის სიჩქარეზე.

ნახევარტალღის პოტენციალი იზომება კალომელის ნაჯერ ელექტროდთან შეფარდებით, დამოკიდებულია ხსნარის შედგენილობაზე, შეიძლება შეიცვალოს ხსნარის pH-თან დამოკიდებულებით და კომპლექსწარმომქმნელი აგენტების დამატებით.



ნახ. 30. პოლაროგრაფის სქემა

რაოდენობრივი პოლაროგრაფიული ანალიზი ემყარება ზღვრული დიფუზური დენის განსაზღვრას, რომლის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია სინჯში გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაციისა. მიგრაციული დენის დათრგუნვისა და გამოსაკვლევი ხსნარის ელექტროგამტარობის გაზრდისათვის უმატებენ ჭარბად ელექტროლიტს (ე. წ. „ფონს"), ფონის აღდგენის პოტენციალი უნდა იმყოფებოდეს უფრო უარყოფით უბანში, განსასაზღვრავი ნივთიერების პოტენციალთან შედარებით.

რაოდენობრივი პოლაროგრაფიული ანალიზი ტარდება სხვადასხვა მეთოდებით: საკალიბრო გრაფიკის გამოყენებით, სტანდარტების მეთოდით და ე. წ. მიმატების მეთოდით.

საკალიბრო გრაფიკის მეთოდით სარგებლობის დროს ამზადებენ გამოსაკვლევი ნივთიერების სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარების სერიას, იღებენ მათ პოლაროგრამებს და საზღვრავენ ტალღათა სიმაღლეს. მიღებული მონაცემების საფუძველზე აგებენ საკალიბრო გრაფიკს კოორდინატებზე — ტალღის სიმაღლე-კონცენტრაცია.

შემდეგ იღებენ სტანდარტული ხსნარების პოლაროგრამებს, საზღვრავენ ტალღათა სიმაღლეებს და, სარგებლობენ რა საკალიბრო გრაფიკით, ადგენენ საძიებელ კონცენტრაციას. საკალიბრო გრაფიკის მეთოდი მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს სერიული ანალიზების დროს

როდესაც ცნობილია გამოსაკვლევი ნივთიერების მიახლოებითი კონცენტრაცია, ნაცვლად სტანდარტთა სერიისა, იყენებენ ორსამ სტანდარტულ ხსნარს, რომელთა კონცენტრაცია ახლოს არის გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაციასთან. ნივთიერების კონცენტრაციას გამოიანგარიშებენ შემდეგი ფორმულით:

$$C_x = \frac{C_{ხს} \cdot H_x}{H_{ხს}},$$

სადაც: C_x — გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაცია;
$C_{ხს}$ — სტანდარტულ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაცია;
H_x — გამოსაკვლევი ხსნარის ტალღის სიმაღლე;
$H_{ხს}$ — სტანდარტული ხსნარის ტალღის სიმაღლე.

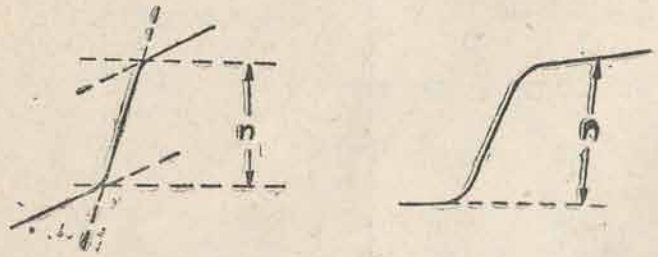
როდესაც არ არის ცნობილი გამოსაკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, სტანდარტულ ხსნარს უშუალოდ უმატებენ გამოსაკვლევ ხსნარს (დამატების მეთოდი). ამ შემთხვევაში გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაციას გამოიანგარიშებენ ფორმულით:

$$C_x = \frac{C_{ხ.}}{\frac{(V_x + V_{ხ})}{V_{ხ}} \cdot \frac{H_{ხ}}{H_x}}$$

სადაც: C_x — გამოსაკვლევ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაცია;
$C_{ხ}$ — სტანდარტულ ხსნარში ნივთიერების კონცენტრაცია;
$H_{ხ}$ — სტანდარტული ხსნარის ტალღის სიმაღლე;
H_x — გამოსაკვლევი ხსნარის ტალღის სიმაღლე;
$V_{ხ}$ — სტანდარტული ხსნარის მოცულობა;
V_x — გამოსაკვლევი ხსნარის მოცულობა.

დიფუზური დენის ზღვრული სიდიდე განისაზღვრება ტალღის სიმაღლით, რომელსაც ნახულობენ გრაფიკულად, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ 31-ზე და განისაზღვრება მმ-ში.

პოლაროგრაფიული განსაზღვრის დაწყებამდე გამოსაკვლევ ხსნარში გაატარებენ აზოტს ან წყალბადს, პოლაროგრაფიულად აქტიური ჟანგბადის მოსაცილებლად, ან შეაბამენ ჟანგბადს ქიმიური რეაქტივებით.



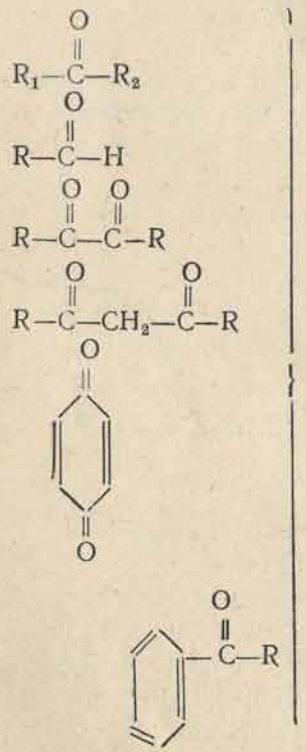
ნახ. 31. დიფუზური დენის ზღვრული სიდიდის განსაზღვრავი გრაფიკი

გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ი ს ს ფ ე რ ო, პოლაროგრაფიულმა მეთოდმა ამჟამად დიდი გამოყენება ჰპოვა რიგ თავისებურებათა გამო, რითაც ეს მეთოდი გამოირჩევა სხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებისაგან.

ამ თავისებურებებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია: ერთ სინჯში შესაძლებელია ნივთიერების თვისობრივი და აგრეთვე რაოდენობრივი განსაზღვრა; დიდი მგრძნობელობა 10^{-5}—10^{-6} მოლ/ლ; სიზუსტე და ობიექტურობა; ანალიზის ჩატარების სიჩქარე; მღვრიე ხსნარების ანალიზის შესაძლებლობა და სხვ.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა პოლაროგრაფიას ენიჭება არაორგანული ნივთიერების მიკრორაოდენობათა განსაზღვრის დროს, კერძოდ, ფერადი მეტალების, იშვიათი და რადიაქტიური ელემენტების, აგრეთვე ნახევარგამტარების ანალიზის საქმეში.

პოლაროგრაფიულ აქტივობას იჩენს აგრეთვე ორგანულ ნაერთთა მნიშვნელოვანი რაოდენობა; სინდიყის მწვეთავ ელექტროდზე აღდგებიან ორგანული ნივთიერებანი, რომელთა სტრუქტურაში არის ქვემოთ მოყვანილი ფუნქციონალური ჯგუფები.



ალდეჰიდები, კეტონები, მითი ოქსიმები და ჰიდრაზონები, ქინონები

$R_3C—Г$
$C_6H_5—Г$

ჰალოიდნაერთები

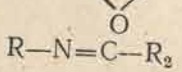
$R_2C=CR—CR=CR_2$
$R—N=CR—CR=NR$
$RN=N—CR=CR$
$R_2C=C=CR_2$

უნაჯერო ნაერთები ორმაგი ბმით

$R—O—O—R$
$R—S—S—R$
$R—S—H$

ზეჟანგები, ჰიდროზეჟანგი, დისულფიდები, მერკაპტანები

$R—NO_2$
$R—NO$
$R—N=N—R$
$R—N—N—R$



$R—N=C—R_2$

ნიტრო, ნიტროზო, აზო, აზოქსი და დიაზონაერთები

სადაც R — წყალბადი ან რადიკალია, ხოლო Г — ჰალოგენი.

პოლაროგრაფიულად განისაზღვრება აგრეთვე ორგანული ნაერთები, რომლებიც შეიცავენ კონდენსირებულ და ჰეტეროციკლურ ბირთვებს. ანალიზის პოლაროგრაფიული მეთოდები მოწოდებულია რიგი ალკალოიდების, ვიტამინების, ჰორმონების, ანტიბიოტიკების, ბარბიტურატების, ორგანულ მჟავათა, მეტალორგანული და სხვა პრეპარატებისათვის.

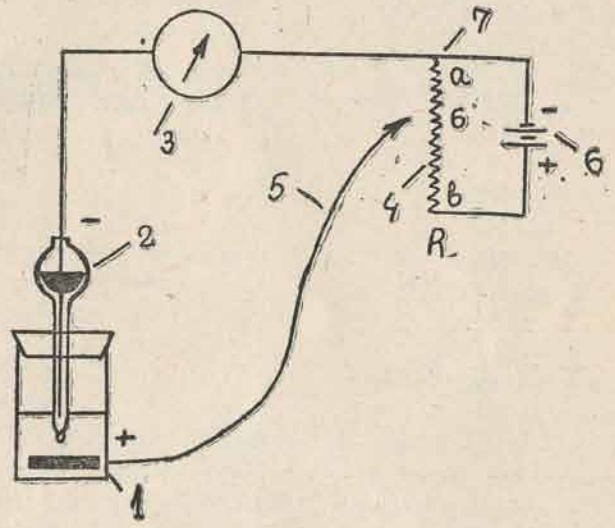
პოლაროგრაფიული მეთოდი შეტანილია ჩეხოსლოვაკიის ფარმაკოპეაში. მე-2 საერთაშორისო ფარმაკოპეის პროექტში და X ფარმაკოპეაში.

პოლაროგრაფიულ განსაზღვრას ატარებენ სპეციალური ხელსაწყოთი, რომელსაც პოლაროგრაფი ეწოდება. პოლაროგრაფები სხვადასხვა ტიპისაა და კონსტრუქციით მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთიმეორისაგან (მუშაობისათვის სარგებლობენ აპარატისადმი თანდართული ინსტრუქციით).

აქ ჩვენ დავკმაყოფილდებით პრინციპული ელექტრონული სქემის აღწერით, რომელიც საფუძვლად უდევს პოლაროგრაფებს.

ასეთი დანადგარი შეიძლება წარმოვიდგინოთ სქემის სახით:

I — ელექტროლიზერში ანოდის სახით გვაქვს სინდიყის მასა (ნახ. 32).

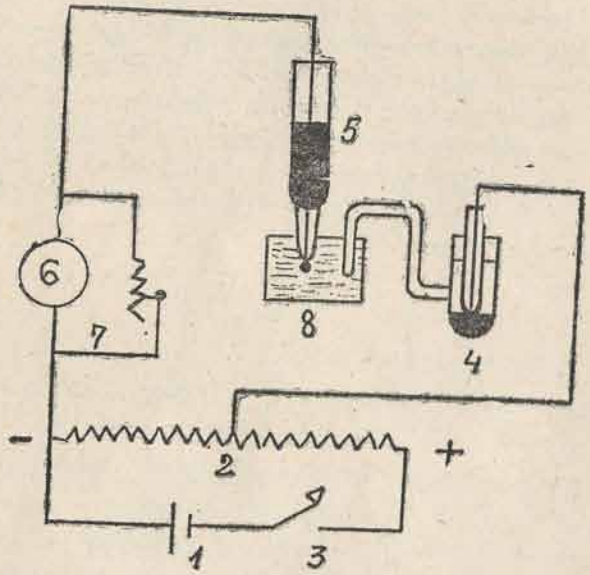


ნახ. 32. პოლაროგრაფიული დანადგარის სქემა; ელექტროლიზერში ანოდის სახით სინდიყის მასაა

II — ანოდად გამოყენებულია კალომელის ელექტროდი, რომელიც ელექტროლიზერს უერთდება ელექტროლიტური ხიდაკით (ნახ. 33).

პირველი სქემით მუშაობის დროს (ნახ. 32) ელექტროლიზერად აღებულია ჭიქა, რომლის ფსკერზე არის სინდიყის ფენა; იგი წარმოადგენს ანოდს და დენის წყაროს დადებით პოლუსთან შეერთებულია პლატინის მოძრავი კონტაქტით. ჭიქაში ასხამენ გამოსაკვლევ ხსნარს და მასში ჩაყურსავენ სქელკედლიან კაპილარულ მილს, რომლის შიდა დიამეტრი=0,03—0,05 მმ კაპილარი რეზინის მილით შერთებულია სინდიყიან რეზერვუართან, რომელიც თავის მხრივ შეერთებულია დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან.

სინდიყი რეზერვუარიდან (2) კაპილარის გავლით ჩამოედინება გამოსაკვლევ ხსნარში წვეთ-წვეთად (დიამეტრი 0,5 მმ), რომლებიც წყდებიან კაპილარიდან 3—5 წამის შუალედით. სინდიყის წვეთები კათოდის როლს ასრულებენ, რომელზეც იონთა ან მოლეკულათა ელექტროაღდგენის პროცესი მიმდინარეობს.



ნახ. 33. პოლაროგრაფიული დანადგარი კალომელის ელექტროდით: 1 — აკუმულატორი, 2 — რეოქორდი, 3 — ჩამრთველი, 4 — კალომელის ელექტროდი, 5 — სინდიყის მწვეთავი ელექტროდი, 6 — გალვანომეტრი, 7 — წინაღობა, 8 — ელექტროლიზერი.

ელექტროდზე მოდებულ ძაბვას ცვლიან მოძრავი კონტაქტის (5) გადაადგილებით დიდი წინაღობის მავთულზე (4). მავთულის ბოლოები შეერთებულია აკუმულატორთან — (6). ხიდაკი (7) შეერთებულია აკუმულატორის უარყოფით პოლუსთან, ხოლო გალვანომეტრის გავლით — სინდიყის რეზერვუართან (2). ანოდი (სინდიყი

ჭიქის ფსკერზე) მოძრავი კონტაქტით (5) შეერთებულია აკუმულატორის დადებით პოლუსთან. თუ კონტაქტს მივიყვანთ ხიდაკის დასაწყისში (7), მაშინ პოტენციალთა სხვაობა ელექტროლიზერის ანოდსა და კათოდს შორის ნულის ტოლი იქნება. მოძრავი კონტაქტის (5) გადაადგილებით მარცხნიდან მარჯვნივ ელექტროდებზე ძაბვა იზრდება და ბოლოს წერტილ 8-ზე ტოლი გახდება აკუმულატორის ძაბვისა.

გალვანომეტრი ჩართული მცირე წრედში (წერტილი 7 — გალვანომეტრი — ელექტროლიზერი — მოძრავი კონტაქტი) გვიჩვენებს დენის ძალას, რომელიც გაივლის გამოსაკვლევ ხსნარში. ძაბვას ელექტროდებზე განსაზღვრავენ მოძრავი კონტაქტის (5) მდებარეობით. აკუმულატორის ძაბვის შემცირება ხდება 7 და 8 წერტილებს შორის. ძაბვის ვარდნა e, a და б მდგომარეობათა შორის განისაზღვრება ტოლობით:

$$e = \frac{аб}{ав} \cdot V,$$

სადაც V აკუმულატორის ძაბვაა.

პოლაროგრაფირების პროცესში მოძრავ კონტაქტს განუწყვეტლივ გადაადგილებენ 7-დან მე-8 წერტილისაკენ და მოძრავი კონტაქტის თითოეული მდგომარეობისათვის გამოითვლიან ძაბვას ელექტროდებზე ზემოთ მოყვანილი ტოლობით. ამავე დროს გალვანომეტრით აღნიშნავენ დენის ძალას კონტაქტის ყოველი მდგომარეობისათვის. მიღებული შედეგები გადააქვთ გრაფიკზე, ორდინატზე — დენის ძალა (J) გალვანომეტრის სკალის დანაყოფებით, აბსცისზე — ძაბვა (V) ხიდაკის დანაყოფებში. შემდეგ წერტილებს აერთებენ ხაზით, რის შედეგადაც მიიღება მრუდი — პოლაროგრამა.

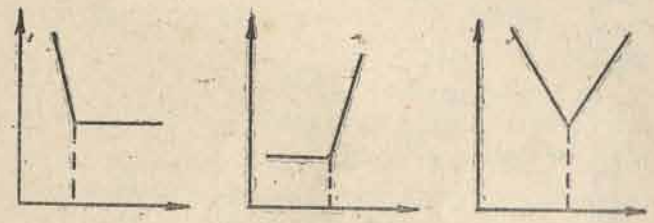
ანალოგიურად ტარდება მუშაობა მეორე სქემის მიხედვით შექმნილ ხელსაწყოებზე (ნახ.. 33).

ლიტერატურაში აღწერილია რიგი სამკურნალო პრეპარატების (ალკალოიდების, გლუკოზიდების, ვიტამინების, ლაქტონების და სხვ.) რაოდენობრივი განსაზღვრის პოლაროგრაფიული მეთოდები.

ამპერმეტრიული ტიტვრა

წამალთა ანალიზის პრაქტიკაში უკანასკნელ წლებში გამოყენება ჰპოვა ამპერმეტრიული ტიტვრის მეთოდმა, რომელიც პოლაროგრაფიული მეთოდის განშტოებას წარმოადგენს.

მეთოდის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ გატიტვრის მსვლელობაში იზომება დენი, რომელიც გადის ელექტროლიზერში ინდიკატორულ ელექტროდსა და სხვა სტანდარტულ შესადარ ელექტროდს შორის. ტიტრიანი ხსნარის ყოველი დამატების შემდეგ იზომება დენის ძალა, მიიღება გრაფიკი J/V (მიკ. ამპ/მლ); ეკვივალენტური წერტილი განისაზღვრება ორი ხაზის გადაკვეთით, რომელიც გვიჩვენებს დენის ცვლილებას ეკვივალენტურ წერტილამდე და მის შემდეგ (ნახ. 34).



ნახ. 34. ამპერმეტრიული ტიტვრის მრუდები.

როგორც სურათიდან ჩანს, ამპერმეტრიული ტიტვრის მრუდები სხვადასხვა სახის შეიძლება იყოს; იგი დამოკიდებულია განსასაზღვრავი ნივთიერების და გამტიტრი რეაგენტის ბუნებაზე. სურათზე ნაჩვენებია ტიტვრის მრუდები: ა) აღდგენადი ნივთიერებისა არააღმდგენელი რეაგენტით, ბ) არააღდგენადი ნივთიერებისა აღმდგენელი რეაგენტით, გ) გასატიტრი ნივთიერებანი და რეაგენტები იჩენენ აღდგენით უნარს ელექტრომამოძრავებელი ძალის ზეგავლენით.

გატიტვრა ტარდება ჩვეულებრივი სინდიყის მწვეთავი ელექტროდით პოლაროგრაფიული ანალიზისა დროს ან პლატინის მბრუ-

ნავი მიკროელექტროდით; შესადარ ელექტროდს წარმოადგენს ნორმალური კალომელის ელექტროდი.

ამპერმეტრიული ტიტვრის დროს გამოიყენება იგივე აპარატები, რაც პოლაროგრაფიული ტიტვრის დროს.

პოლაროგრაფიასთან შედარებით ამპერმეტრიული ტიტვრის მეთოდს აქვს ზოგიერთი უპირატესობა, რომელთაგან აღსანიშნავია დიდი სიზუსტე, სისწრაფე; განსაზღვრის შედეგებზე არ მოქმედებს ტემპერატურა და, რაც მთავარია, ამპერმეტრიულად შეიძლება განისაზღვროს ნივთიერებანი, რომლებიც თვით არ განიცდიან აღდგენას (აღდგენას განიცდის გამტიტრი რეაგენტი).

ქრომატოგრაფია

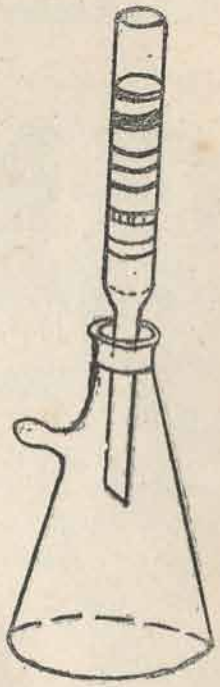
ანალიზის ქრომატოგრაფიული მეთოდის აღმოჩენა ეკუთვნის მ. ს. ცვეტს (1903). ამ მეთოდმა უკანასკნელ ხანებში განსაკუთრებულად დიდი მნიშვნელობა მოიპოვა როგორც კვლევით ლაბორატორიებში, ისე წარმოებაში.

სიტყვა „ქრომატოგრაფია" წარმოდგება ბერძნულიდან: Chromatos — Chroma — ფერი და graphein — ჩაწერა, ე. ი. ქრომატოგრაფია გულისხმობს ფერით აღწერას.

მ. ცვეტის ქრომატოგრაფია მოიცავდა ბუნებრივი შეფერილი ნივთიერების დაყოფას ადსორბენტიან სვეტში, სადაც ნარევის შემადგენელი ცალკეული ნივთიერებანი ნაწილდება ადსორბენტის მიმართ ადსორბციული უნარის სიძლიერის მიხედვით. სორბენტის სვეტს (კოლონკას), რომელზეც ხდებოდა შეფერილ ნივთიერებათა დაყოფა, მ. ცვეტმა ქრომატოგრამა უწოდა, ხოლო მეთოდს — ქრომატოგრაფია.

ამჟამად ქრომატოგრაფიულად იკვლევენ ნივთიერებებს, რომელთაც არა აქვთ ფერი, მაგრამ მათ გამომჟღავნებას აღწევენ ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით.

ქრომატოგრაფიული მეთოდი ემყარება ადსორბციის, დესორბციის და იონცვლის პროცესებს. სხვადასხვა ნივთიერებას ახასიათებს ადსორბციის სხვადასხვა უნარი. საანალიზო ნარევის გატარების დროს ადსორბენტის სვეტში ადგილი აქვს სელექციურ ადსორბციას; ნივთიერება, რომელიც ძლიერად ადსორბირდება, შთაინთქმება სვეტის ზედა ფენაში, ხოლო ნივთიერება, რომელიც სუსტად სორბირდება, გადაადგილდება ქვემოთ, რის შედეგადაც სვეტში მიიღება მიმდევრულად განლაგებული ზონები, ე. წ. ქრომატოგრამა. სორბენტიან სვეტში ნივთიერებათა ნარევის ხსნარის გატარების დროს კომპონენტები შთაინთქმება არა ერთბაშად, არამედ მოცემული სორბენტის მიმართ სწრაფის თანმიმდევრობის შესაბამისად (სურ. 1).



სურ. 1. ქრომატოგრაფიული ადსორბცია ცვეტით

ადსორბციული მწკრივის ყოველი მომდევნო ნივთიერება ხასიათდება შედარებით სუსტი ადსორბციული უნარით მოცემული სორბენტის მიმართ, ვიდრე მის ზემომდებარე. მიიღება ფერადი ზოლები, რომელიც დამახასიათებელია გამოსაკვლევ ხსნარში შემავალი კომპონენტებისათვის; ზონის სიდიდე მიგვითითებს ნივთიერების რაოდენობაზე.

ქრომატოგრაფირების პროცესი შეიძლება განვიხილოთ შემდეგნაირად: სორბენტის სვეტის ზედა ნაწილში შეყვანილი ნივთიერება ნაწილდება სორბენტსა და გამხსნელში, რომელიც მთავსებულია სორბენტის ნაწილაკებს შორის. ადსორბირებული ნივთიერების შეფარდება ხსნარში არსებული ნივთიერების რაოდენობასთან დამოკიდებულია ადსორბციის ხარისხზე და რიცხობრივად გამოისახება ადსორბციის კოეფიციენტით. ადსორბციის კოეფიციენტი დამოკიდებულია აგრეთვე სორბენტის ფორიანობაზე და მისი ნაწილაკების განლაგებაზე სვეტში.

ქრომატოგრამის გამოსამჟღავნებლად სვეტში ატარებენ სუფთა გამხსნელს, რის შემდეგაც ირღვევა წონასწორობა, წონასწორობის აღსადგენად სვეტის არეში, რომელიც შეესაბამება კომპონენტების საწყის განლაგებას, უნდა მოხდეს დესორბცია, ხოლო სვეტის ქვედა არეში — ადსორბცია და ა. შ. სვეტში ნივთიერების გადაადგილების სიჩქარე უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია ადსორბციის კო-

ეფიციენტთან. მცირე ადსორბციის კოეფიციენტების მქონე კომპონენტები უფრო სწრაფად გადაადგილდებიან და პირიქით.

თანამედროვე ქრომატოგრაფია იყოფა:

1. ქრომატოგრაფია ქაღალდზე და სორბენტის თხელ ფენაზე;
2. ქრომატოგრაფია სორბენტთა სვეტზე (კოლონკური);
3. აირ-სითხოვანი ქრომატოგრაფია.
4. მაღალეფექტური სითხოვანი ქრომატოგრაფია.

ქრომატოგრაფია ქაღალდზე

ქრომატოგრაფია ქაღალდზე მიეკუთვნება ანალიზის მიკრომეთოდებს. ამ მეთოდით ცალკეულ ნივთიერებათა გამომჟღავნებისა და განსაზღვრისათვის საკმარისია 0,001—0,05 მგ. ამასთან, იგი არ საჭიროებს რთულ ხელსაწყო-აპარატურას.

ზემოაღნიშნულმა განაპირობა ამ მეთოდის ფართო გამოყენება მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალ დარგში.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის წინამორბედად ითვლება წვეთური ანალიზი და მ. ცვეტის ადსორბციული ქრომატოგრაფია.

უძველესი დროიდან საღებავების წარმოებაში მიღებული პროდუქტის ხარისხის განსასაზღვრავად ნიმუშს აწვეთებდნენ ფილტრის ქაღალდზე ან ქსოვილზე. თუ საღებავი შედგება რამდენიმე კომპონენტისაგან, მაშინ ფილტრის ქაღალდზე წარმოიშობა კონცენტრული რგოლები, ერთი კომპონენტის შემთხვევაში ლაქა ერთფეროვანია. ამგვარად ადგენდნენ საღებავის ხარისხს.

არაორგანულ ნივთიერებათა ნარევის დაყოფა (წყლიანი ხსნარიდან) ფილტრის ქაღალდზე მოახდინა ფრინდლიბ ფერდინანდ რუნგემ 1855 წ. იგი შეიძლება ჩაითვალოს წვეთური ანალიზის ერთ-ერთ ფუძემდებლად, რომლის შემდგომ განვითარებას მნიშვნელოვნად შეუწყო ხელი ფ. ფეიგლის და ნ. ტანანაევის შრომებმა (1919).

1861 წელს ხ. ფ. შენბაინმა გამოთქვა მოსაზრება რიგი ნივთიერებების ნაწილობრივ დაყოფის პროცესში წვეთური ანალიზის გამოყენების შესახებ.

ფრიდრიხ გოპელსრედერმა დაადგინა ზოგიერთი დამოკიდებულება ნივთიერების ქიმიურ სტრუქტურასა და მის კაპი-

ლაროგრამაზე გადაადგილების მანძილს შორის. წვეთურმა ანალიზმა დიდი გამოყენება ჰპოვა წამალთა ანალიზში პრეპარატების თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრის და სიწმინდის გამოკვლევისათვის.

1903 წელს მ. ცვეტმა აღწერა ქრომატოგრაფიული მეთოდის პრინციპები და შესაძლებლობანი, რადგან იგი წარმოდგენას იძლეოდა საღებავთა სახეობასა და შემადგენლობაზე „ქრომატოგრაფია“ უწოდა.

მ. ცვეტმა პირველმა სწორად გაიგო მოვლენათა პრინციპი და გამოიყენა ისინი ეფექტური ანალიზური და პრეპარატული მეთოდების შესამუშავებლად. ამიტომ ცვეტი ითვლება ქრომატოგრაფიის ფუძემდებლად. სახელწოდება „ქრომატოგრაფია“ შენარჩუნებულ იქნა, თუმცა იგი გამოყენებულია არა მარტო საღებავების, არამედ უფერო ნივთიერებების შესასწავლადაც.

1937 წელს გ. მ. შვაბემ დაამტკიცა, რომ მარილთა ნარევის დაყოფა წყლიანი ხსნარებიდან შესაძლებელია ალუმინის ჟანგის სვეტში.

მ. ცვეტის ადსორბციულმა ქრომატოგრაფიამ შემდგომში განვითარება ჰპოვა ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის სახით 1941 წელს ფუქსის, ხოლო 1943 წელს გორდონის და კონსდენის შრომებში. ამ სფეროში დიდმნიშვნელოვანი მუშაობის ჩატარებისათვის 1952 წელს ინგლისელ მეცნიერებს მარტინს და სინგს ნობელის პრემია მიენიჭათ.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის თეორიული საფუძვლები

ქრომატოგრაფია წარმოადგენს ნივთიერებათა ნარევის შემადგენელ კომპონენტებად დაყოფის მეთოდს, დამყარებულს მათი ფიზიკური და ქიმიური თვისებების განსხვავებაზე. ეს თვისებები გავლენას ახდენს ნივთიერებათა განაწილებაზე გამხსნელთა სისტემის ორ ფაზას შორის ამ ფაზების მიმართული ფარდობითი მოძრაობის პირობებში.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიასთან დაკავშირებულია სხვადასხვა თეორიული საკითხები. ეს საკითხები ძირითადად ორ ჯგუფად იყოფა:

I ჯგუფის მთავარ პრობლემად ითვლება ეგრეთ წოდებული ნივთიერებათა რაოდენობის შენახვის პირობების ტოლობის გადაწყვეტა;

II ჯგუფის ძირითად საკითხს წარმოადგენს ნივთიერებათა ქიმიური აგებულების გავლენა მათ ქრომატოგრაფიულ ქცევაზე.

ქრომატოგრაფიის, როგორც დაყოფის მეთოდის, საერთო პრინციპს წარმოადგენს ნივთიერებათა რაოდენობრივი შენახვის პირობა. ნივთიერებათა რაოდენობა, რომელიც დაყოფის პროცესში ერთი ფაზიდან მეორეში გადავიდა, პირველი ფაზისათვის წარმოადგენს დანაკარგს, ხოლო მეორესათვის — ნამატს; ნივთიერების რაოდენობრივი ცვლილება კი ტოლია ნულის. ქრომატოგრაფიის ეს ძირითადი პირობა პირველად ჩამოაყალიბა ვილსონმა, შემდეგ — დე-ვოლტმა, უფრო მოგვიანებით — სმიტმა. მათვე მოგვაწოდეს ამ პირობის მათემატიკური ტოლობა, რასაც დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

ფაქტორად, რომლის მეშვეობით ქრომატოგრაფიის სხვადასხვა სახეები ერთმანეთისაგან განსხვავდება, ითვლება დაყოფის პროცესის ხასიათი, რომელიც თავის მხრივ შეიძლება დახასიათებულ იქნეს დაყოფის ფუნქციით.

დაყოფის ფუნქცია არის ტოლობა, რომლითაც განისაზღვრება ურთიერთდამოკიდებულება დასაყოფი ნარევის განსაზღვრული კომპონენტის კონცენტრაციას შორის მოძრავ და უძრავ ფაზაში. ნივთიერების განაწილებისას ორ გამხსნელს შორის ეს ტოლობა შეესაბამება განაწილების კოეფიციენტის ტოლობას.

განაწილების კოეფიციენტი დამოკიდებულია ნივთიერების ხსნადობაზე ორივე ფაზაში და გამოისახება შეფარდებით $\frac{C_1}{C_2}$, სადაც C_1 — ნივთიერების კონცენტრაციაა უძრავ ფაზაში, ხოლო C_2 — ნივთიერების კონცენტრაცია მოძრავ ფაზაში.

ნივთიერების გადაადგილების უნარი ქაღალდზე ხასიათდება სიდიდით Rf. მისი მნიშვნელობა მოცემული ცალკეული ნივთიერებისათვის, ვამხსნელთა სისტემისა და ტემპერატურის უცვლელ პირობებში, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც მაჩვენებელი

(კონსტანტა) $$Rf = \frac{X_м}{X_к} = \frac{q_п}{q_п + \alpha q_н}.$$

$X_м$ — ლაქაში ნივთიერების კონცენტრაციის მაქსიმუმის მდგომარეობაა;

$X_к$ — მისი შესაბამისი გამხსნელის ფრონტის მდგომარეობა,

$q_п$ — ნივთიერების კონცენტრაცია მოძრავ ფაზაში;

$q_н$ — ნივთიერების კონცენტრაცია უძრავ ფაზაში.

აქედან: $\alpha = \frac{q_п}{q_н}\left(\frac{1}{Rf} - 1\right)$;

ტოლობიდან გამომდინარე, განაწილების კოეფიციენტი (α) განისაზღვრება როგორც ნივთიერებათა კონცენტრაციის ფარდობა მოძრავ და უძრავ ფაზებში, ხოლო Rf უნდა იყოს მუდმივი სიდიდე განსაზღვრული პირობებისათვის. Rf-ის სიდიდის ცვლილებას იწვევს მოძრავ და უძრავ ფაზებს შორის ნივთიერებათა კონცენტრაციის ფარდობის (α) ანომალიური ქცევა.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: სპეციალურ ფილტრის ქაღალდზე კაპილარით შეაქვთ ნივთიერებათა ნარევის ხსნარი; ქაღალდის ერთ ბოლოს ჩაუშვებენ გამხსნელიან ჭურჭელში (მოძრავი ფაზა). ამ დროს კაპილარული ძალების მოქმედებით გამხსნელი შეიწოვება ქაღალდის მიერ. ქაღალდიდან გამხსნელის აორთქლების თავიდან ასაცილებლად მთელ პროცესს ატარებენ ჰერმეტულად დახურულ კამერაში, რომლის ატმოსფერო გამხსნელი ორთქლითაა გაჯერებული. როდესაც მოძრავი ფაზა მიაღწევს იმ ადგილს, სადაც მოთავსებულია გამოსაკვლევი ნარევი, მისი ცალკეული კომპონენტების მოლეკულები განაწილდება მოძრავ და უძრავ ფაზებს შორის (უძრავ ფაზად ითვლება ქაღალდი). მოძრავ ფაზაში მოხვედრილი მოლეკულები გადაიტანება უძრავი ფაზის მეზობელ ადგილას; ნივთიერების კონცენტრაცია ფაზებს შორის იცვლება; ნივთიერებათა გადასვლა ფაზათა შორის გრძელდება წონასწორობის დამყარებამდე. ამ პროცესის შედეგად გამხსნელის ფრონტიდან მოშორებული ლაქის კიდე (ფილტრის ქაღალდზე გამოსაკვლევი ხსნარის დაწვეთებით წარმოშობილი) თითქოს „შეჭმულია“, ხოლო უფრო ახლოს მყოფი კიდე — გაფართოებულია. ამგვარად, ლაქა მოძრაობს ქაღალდის გასწვრივ მოძრავი ფაზის ნაკადის მიმართულებით. ლაქის მოძრაობის სიჩქარე დამოკიდებულია შესაბამისი ნივთიერების დაყოფის ფუნქციაზე. წონასწორობისას,

თუ მოლეკულათა რაოდენობა გადახრილია მოძრავი ფაზისაკენ, ლაქა გადაადგილდება შედარებით სწრაფად, თუ უძრავი ფაზისაკენ — მაშინ ნელა. ყველა ნივთიერება, რომელთა დაყოფის ფუნქციის კოეფიციენტის სიდიდე განსხვავდება სულ მცირედითაც კი. ქრომატოგრაფირების დროს იძლევა სივრცობრივად განაწილებულ (გაყოფილ) ზონებს.

ამგვარად, ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის დროს ხდება ორ ფაზას შორის ნივთიერებათა განაწილების აქტის მრავალჯერადი განმეორება.

დაყოფითი ქრომატოგრაფიის დროს ხდება ნივთიერებათა განაწილება ორ სითხოვან ფაზას შორის, რომელთაგან ერთი უძრავია, მეორე მოძრავი. ნივთიერება ორივე ფაზაშია განაწილებული. მეთოდი ემყარება ნივთიერებათა განაწილების კოეფიციენტის სხვადასხვაობას ორ არაშერევად გამხსნელს შორის.

განაწილებითი ქრომატოგრაფიის უპირატესობაა დაყოფის ფუნქციის ხაზოვანი ბუნება. განაწილების კოეფიციენტი დამოკიდებულია ორ არაშერევად გამხსნელში განაწილებული ნივთიერების კონცენტრაციაზე. ამიტომ ზონები მიიღება სიმეტრიული ფორმის და ლაქის მდებარეობა თითქმის არ არის დამოკიდებული ნივთიერების კონცენტრაციაზე.

ელექტროქრომატოგრაფია მოწოდებულია დაყოფის იმ შემთხვევაში, რომლის დროსაც ელექტრული მუხტის მატარებელი ნივთიერება სვეტში ან ქაღალდზე გადაიტანება არა გამხსნელის ნაკადით, არამედ ელექტრული დენის მოქმედებით.

მეთოდს, რომელშიც ფოროვანი მატარებლის სახით გამოყენებულია ქაღალდი, ეწოდება ელექტროფორეზი (იონოფორეზი) ქაღალდზე. ეს მეთოდი არ არის ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის ჩვეულებრივი მეთოდი; მას საფუძვლად უდევს ელექტრულ ველში ნაწილაკების სხვადასხვა სიჩქარით გადაადგილება ქაღალდზე ელექტროფორეზის დროს.

ელექტროკინეტიკური ულტრაფილტრაციული ანალიზი.

ცნობილია, რომ ქიმიურად მონათესავე პოლიმერებიდან ან კონდენსატებიდან უფრო ძლიერ ადსორბირდებიან ის ნივთიერებანი, რომელთაც მეტი მოლეკულური წონა აქვთ. მიუხედავად იმისა,

რომ ბევრ ადსორბენტს აქვს ბადისებური სტრუქტურა, ხშირად პროცესი ამ წესს არ ემორჩილება ამიტომ მიულდმა და სინგმა ადსორბენტად გამოიყენეს საჭირო ფორმების მქონე კოლოდიუმის ფირფიტა.

კოლოდიუმის ფორებში გავლისას პოლისაქარიდების ხსნარები, რომელთაც სხვადასხვა სიგრძის ჯაჭვი აქვთ, იყოფიან და წარმოქმნიან ხილვად ზონებს. ამ მეთოდში, ისევე როგორც ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის დროს, გამოყენებულია ფურცლოვანი ფორმის სორბენტი. ფირფიტებს აკეთებენ სპეციალურად მომზადებული ცელულოზისაგან. შესაძლებელია განხილული მეთოდების კომბინირება.

ზოგჯერ ქაღალდზე ადგილი აქვს როგორც განაწილებას ორ სითხოვან ფაზას შორის, ისე ადსორბციასაც. აქ დაყოფის ძალები მოქმედებენ ერთი მიმართულებით.

შეიძლება ამ ძალების მოქმედების მიმართულება ურთიერთპერპენდიკულარული გახდეს, მაგალითად, თუ ხსნარის მოძრაობის პერპენდიკულარულ მიმართულებას (დაყოფის პროცესის მიმართულება, დამყარებული ორ ფაზას შორის ნივთიერების სხვადასხვა განაწილებაზე) მივუყენებთ ელექტრულ ველს (დაყოფის პროცესი, რომელიც დამყარებულია ელექტრულ ველში ნაწილაკების სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობაზე). ასეთი კომბინაციების შესაძებლობანი განხილული იყო სტრეინის და მერფის მიერ.

ზემომოყვანილმა კლასიფიკაციამ ფართო გამოყენება ჰპოვა პრაქტიკულ მუშაობაში მეთოდების დამუშავების დროს.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის მეთოდები, ტექნიკა, აპარატურა

ქაღალდზე დაყოფითი ქრომატოგრაფია შედგება შემდეგი ძირითადი ოპერაციებისაგან:

1. ქაღალდისა და გამხსნელების მომზადება;
2. სინჯის აღება;
3. გამოსაკვლევ ნივთიერებათა ქრომატოგრაფიული დაყოფა;
4. გამომქღავნება.
5. Rf-ის განსაზღვრა.

ქ ა ღ ა ლ დ ი

ნივთიერებათა ქრომატოგრაფიული დაყოფისათვის გამოიყენება სპეციალური ქაღალდი — „ქრომატოგრაფიისათვის“. ამზადებენ სხვადასხვა სახის ქაღალდს — სწრაფს, ნელს და სხვ. ქრომატოგრაფირების დროს კარგი შედეგების მიღებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ქაღალდის ხარისხს. ქაღალდი უნდა იყოს საკმაოდ ერთგვაროვანი. მასში α — ცელულოზას რაოდენობა 25%-ს უნდა აღემატებოდეს. ქრომატოგრაფიულ ანალიზში უმთავრესად იყენებენ ისეთ ქაღალდს, რომ გამხსნელის ფრონტი მასზე გადაადგილდეს 15—25 სმ 6 საათის სიჩქარით, ხოლო წყალი ასეთ ქაღალდზე უნდა ადიოდეს 60—80 მმ-ზე 10 წუთში. უცხოური ფირმები ქრომატოგრაფიისათვის უშვებენ უმთავრესად „ვატმანის“ ქაღალდს სხვადასხვა ნომრებით; ბოლო ხანებში გერმანულმა ფირმებმა დიდი რაოდენობით გამოუშვეს „ნიდერშლაგის“ მარკის ქაღალდი სხვადასხვა ნომრებით. საბჭოთა კავშირში ძირითადად გამოყენებულია ლენინგრადის (№ 2 ქაღალდის ფაბრიკა) მიერ გამოშვებული ქაღალდი ქრომატოგრაფიისათვის. შეიძლება ჩვეულებრივი ფილტრის ქაღალდის გამოყენებაც, თუ მას წინასწარ დავამუშავებთ მინერალური მარილების და სხვა მინარევების მოცილების მიზნით. მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული, რომ Rf დამოკიდებულია ქაღალდის ხარისხზე, ამიტომ უნდა მოხდეს მისი წინასწარი შემოწმება სტანდარტული ნივთიერებით (8). ქაღალდი ქრომატოგრაფიისათვის უნდა ინახებოდეს გარემო ფაქტორებისაგან იზოლირებულად (ცელოფანის დახშულ პაკეტებში).

ქ ა ღ ა ლ დ ი ს მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ი ს ა თ ვ ი ს მდგომარეობს შესაბამისი ზომისა და ფორმის ქაღალდის გამოჭრაში და უძრავი ფაზით მის გაჟღენთვაში.

ქაღალდს ჭრიან სწორკუთხედის სახით, რომლის ზომა დამოკიდებულია კამერის ზომაზე და სინჯების რაოდენობაზე. შევიწროებული მხარის ერთი ბოლოდან 6—7 სმ-ის მანძილზე ჩვეულებრივი ფანქრით ფრთხილად ავლებენ ე. წ. „სტარტის ხაზს“, რომლითაც აღინიშნება სინჯის მდებარეობის ადგილი. თუ უძრავი ფაზა, რომლითაც უნდა გაიჟღენთოს ქაღალდი, აქროლადი ნივთიერებაა, ქაღალდს ათავსებენ ქრომატოგრაფიულ კამერაში, რომლის ძირზე

დასხმულია ეს ფაზა, და აყოვნებენ. ხოლო ძნელქროლადი გამხსნელის შემთხვევაში ამატებენ ადვილად აქროლად გამხსნელს და ქაღალდს 1—2 წამით ჩაყურსავენ ამ ნარევში, შემდეგ მოათავსებენ ორ ფილტრის ქაღალდს შორის და აყოვნებენ 15—20 წუთი, ჰაერზე ადვილად აქროლადი გამხსნელის მოსაშორებლად.

ზოგიერთ შემთხვევაში დაყოფისას კარგ შედეგს იძლევა ბუფერული ხსნარების გამოყენება. ამისათვის ქაღალდს წინასწარ ასველებენ შესაბამის ბუფერულ ხსნარში, აშრობენ და შემდეგ შეაქვთ გამოსაკვლევი ნივთიერება.

გ ა მ ხ ს ნ ე ლ თ ა ს ი ს ტ ე მ ე ბ ი, რომლებიც გამოიყენება ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის დროს, ასრულებენ როგორც მოძრავი, ისე უძრავი ფაზის როლს. ქაღალდის ჰიდროფილურობის გამო უძრავ ფაზად შეიძლება ჩითვალოს გამხსნელთა სისტემის უფრო პოლარული კომპონენტი. თუ წინასწარ დამუშავების (ნავთი და სხვა ნივთიერებით გაჟღენთვა) შედეგად ქაღალდი გახდება ჰიდროფობური ხასიათის, მაშინ უძრავი ფაზა იქნება ნაკლებ პოლარული გამხსნელი.

განაწილების კოეფიციენტებს შორის სხვაობის გასაღიდებლად ხშირად გამხსნელებს უმატებენ ამა თუ იმ ნივთიერებას. მაგალითად, აღკალოიდების და სხვა ფუძე ხასიათის ნივთიერებათა დაყოფისას ხშირად უმატებენ ძმარმჟავას, ზოგჯერ ჭიანჭველმჟავას ან პროპიონის მჟავას; ორგანული მჟავების დაყოფისას — ამონიაკს.

ქრომატოგრაფიის პროცესისათვის გამხსნელთა სისტემის მომზადება გულისხმობს აუცილებელი ნარევის მომარაგებას; ამასთან, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მოძრავი და უძრავი ფაზების ურთიერთგაჯერებას. კერძოდ, ფართოდ გამოყენებული სისტემა — ბუთანოლი — წყალი — ძმარმჟავა — მზადდება ამ გამხსნელების შენჯღრევით გამყოფ ძაბრში. ფენათა დაწდომის და გაყოფის შემდეგ ზედაფენას იყენებენ როგორც მოძრავ ფაზას, ქვედას კი — როგორც უძრავს.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ქაღალდზე დაყოფითი ქრომატოგრაფია ემყარება ორ ურთიერთგანსაზღვრული დამოკიდებულებით ხსნად სითხეთა შორის გახსნილი ნივთიერების განაწილების კანონის გამოყენებას. გამომდინარე აქედან, გამხსნელთა სისტემის სწო-

რად შერჩევა ერთ-ერთი ძირითადი საკითხია ქაღალდზე ქრომატოგრაფიული მეთოდის წარმატებით გამოყენებისათვის.

მიუხედავად იმისა, რომ ქაღალდზე ქრომატოგრაფიას არც თუ ისე დიდი ხნის ისტორია აქვს, ამჟამად ლიტერატურაში რეცეპტების დიდი რაოდენობაა მოწოდებული გამხსნელთა სისტემისათვის. ერთის მხრივ, ეს განპირობებულია ორგანულ ნაერთთა მრავალრიცხოვნებითა და მრავალფეროვნებით. გამონაკლისს შეადგენს სისტემა ნ — ბუთანოლი — ძმარმჟავა — წყალი (4:1:5), რომელიც თითქმის უნივერსალურია. ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის გამოჩენილი სპეციალისტების აზრით, მომავალში გამხსნელთა სისტემების რიცხვი უნდა შემცირდეს.

ქვემოთ მოგვყავს უმთავრესი წარმომადგენლები გამხსნელთა სისტემებიდან ჰიდროფილურობის შემცირების რიგით:

1. ფენოლი, გაჯერებული წყლით;
2. ნ-ბუთანოლი-ძმარმჟავა-წყალი (4:1:5);
3. ნ-ბუთანოლი-ამიაკი 1,5 ნ (1:1);
4. ბუთილაცეტატი გაჯერებული წყლით;
5. ოთხქლორნახშირბად 1% ძმარმჟავას შემცველობით, კამერაში 50%-იანი ძმარმჟავა;
6. ქაღალდი, გაჟღენთილი ფორმამიდით; მოძრავი ფაზა — ქლოროფორმი; კამერა გაჯერებული ქლოროფორმით;
7. ქაღალდი, გაჟღენთილი ფორმამიდით; მოძრავი ფაზა — ბენზოლი; კამერა გაჯერებული ბენზოლით;
8. ქაღალდი, გაჟღენთილი ფორმამიდით; მოძრავი ფაზა — ბენზოლი — ციკლოჰექსანი (3:7); კამერა გაჯერებული იგივე ნარევით;
9. პეტროლეუმის ეთერი-მეთანოლი-წყალი (2:1:1). კამერა გაჯერებული 50%-იანი მეთანოლით;
10. ქაღალდი, გაჟღენთილი ნავთით; მოძრავი ფაზა — 80%-იანი მეთანოლი, 5% ნ-ბუთანოლით; კამერა გაჯერებული ამავე ნარევით.

საშუალო ჰიდროფილურობის სისტემებიდან (5—9) უპირატესობას ანიჭებენ ფორმამიდიან სისტემებს, ამასთანავე სიძნელე დაკავშირებულია ქრომატოგრამის გაშრობასთან, ფორმამიდის მაღალი დუღილის ტემპერატურის გამო.

სისტემა 9 შეიძლება გამოყენებულ იქნეს უფრო დიდი ჰიდროფილობის ნივთიერებათათვის, რადგან პეტროლეუმის ეთერი შეცვლილია ბენზოლით.

სისტემის იდეალური შერჩევა შესაძლებელია მხოლოდ ქრომატოგრაფირების დროს ნივთიერების გადაადგილებაზე მოქმედი ყველა ფაქტორის გარკვევით.

სინჯის აღება

სინჯის გადატანას ქაღალდზე აწარმოებენ უძრავი ფაზით ქაღალდის გაჟღენთვამდე. ან გაჟღენთვის შემდეგ. აქროლადი გამხსნელების შემთხვევაში სინჯის გადატანა წინ უნდა უსწრებდეს გაჟღენთვას, ხოლო, თუ მაღალი დუღილის ტემპერატურის მქონე გამხსნელია, მაშინ ეს პროცესი ხდება როგორც გაჟღენთვამდე, ისე გაჟღენთვის შემდეგ. ხსნარის გადატანა ქაღალდზე ხორციელდება 0,1—0,2 მლ მოცულობით—მიკროპიპეტით ან კაპილარით (სურ. 2).

სურ. 2. კაპილარული მიკროპიპეტი

სიზუსტისათვის უმჯობესია სპეციალური ავტომატური პიპეტის გამოყენება. ადგილი, სადაც სინჯს აწვეთებენ, წინასწარ აღინიშნება უბრალო ფანქრით, მხედველობაში იღებენ ხელსაწყოს ზომას და დაყოფის მეთოდს. საჭიროების შემთხვევაში სინჯს წინასწარ წმენდენ მინარევებისაგან, რისთვისაც იყენებენ სხვადასხვა ხერხებს. მაგალითად, ცილების მოსაშორებლად სარგებლობენ ულტრაფილტრაციით, დიალიზით, დალექვის სხვადასხვა საშუალებებით და სხვ.

მანძილს სინჯებს შორის შეძლებისდაგვარად დიდს არჩევენ. დაწვეთებული ლაქის დიამეტრი არ უნდა აღემატებოდეს 6—8 მმ. ამ ზომის ლაქა ადვილად მიიღება, თუ სინჯს ქაღალდზე გადავიტანთ არა მთლია-

ნად, არამედ ნაწილ-ნაწილ, მცირე ულუფებით, რათა ლაქას მიეცეს გაშრობის საშუალება. ქაღალდზე გადატანილი ნივთიერების აბსოლუტური რაოდენობა შეიძლება მერყეობდეს საკმაოდ დიდ ფარგლებში (ჩვეულებრივ 1-დან 2000 მკგ-მდე).

გამოსაკვლევ ნივთიერებათა ქრომატოგრაფიული დაყოფა

მომზადებულ, სინჯიან და უძრავი ფაზით გაჟღენთილ (გაჯერებულ) ქაღალდს ათავსებენ კამერაში და ახდენენ მის ქრომატოგრაფირებას. ქაღალდზე ქრომატოგრაფირების რამდენიმე ხერხი არსებობს:

1. დაღმავალი ქრომატოგრაფია;
2. აღმავალი ქრომატოგრაფია;
3. რადიალური ქრომატოგრაფია.

დ ა ღ მ ა ვ ა ლ ი ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ი ს დროს მოძრავი გამხსნელი და მასთან ერთად დასაყოფი ნივთიერება მოძრაობს ზემოდან ქვემოთ. მთელი მოწყობილობა შედგება ჭურჭლისაგან (გამხსნელთა სისტემისათვის), რომელსაც ამა თუ იმ ხერხით ამაგრებენ კამერის ზედა ნაწილში. ეს უკანასკნელი ჰერმეტულია და გაჯერებულია სისტემის ორთქლით. კამერად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შესაფერისი ზომის ნებისმიერი ჭურჭელი. შედარებით მოსახერხებელია მინის ჭურჭელი.

ა ღ მ ა ვ ა ლ ი ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ა იმით განსხვავდება დაღმავალისაგან, რომ გამხსნელი ქაღალდზე ადის ქვემოდან ზევით. გამხსნელს ათავსებენ ან ჭურჭელში კამერის ფსკერზე, ან უშუალოდ კამერაში.

რ ა დ ი ა ლ უ რ ი ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ა თანამედროვე გაგებით მოწოდებულია რატერის მიერ 1948 წელს. გამხსნელის და ნივთიერების მოძრაობა ხორციელდება ქაღალდის ცენტრიდან (რომელიც ამოჭრილია წრიულად) რადიალურად პერიფერიისაკენ. ამ მეთოდისათვის საჭირო მოწყობილობა 3 ჯგუფად იყოფა:

1. მცირე ზომის კამერები — გამოყენებულია ერთმანეთზე დაწყობილი ორი პეტრის ფინჯანი, რომელთაც არჩევენ საანალიზო სინჯში ნივთიერების რაოდენობის და Rf-ის მნიშვნელობის მიხედვით.

2. დიდი ზომის კამერები — რთული ნარევის სრული დაყოფისათვის გამოყენებულია სპეციალური ჰერმეტული კამერები.
3. კამერები პრეპარატული მიზნებისათვის, რამდენიმე ქრომატოგრამის ერთად მისაღებად.

ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდებიდან ლაბორატორიულ პირობებში უპირატესობა ენიჭება დაღმავალ ქრომატოგრაფიას, რადგან მისი მეშვეობით ხერხდება ნივთიერებათა დაყოფა შედარებით გრძელ ქრომატოგრამაზე. მაშინ როდესაც აღმავალი ქრომატოგრაფიისას დაყოფა შეზღუდულია იმ კაპილარული ძალების სიდიდით, რომლებმაც უნდა დასძლიონ დედამიწის მიზიდულობის ძალები.

რაოდენობრივი და პრეპარატული მიზნებისათვის დაღმავალი და აღმავალი ქრომატოგრაფია უფრო უკეთესია, ვიდრე რადიალური. თუმცა, იმ ნივთიერებებისათვის, რომელთა Rf-ის მნიშვნელობა ახლო დგას ერთმანეთთან, რადიალური მეთოდია მოხერხებული. ამ მეთოდის უპირატესობაა აგრეთვე შესრულების სისწრაფე.

ნივთიერებათა სრულყოფილი დაყოფისათვის მოწოდებულია განმეორებითი ქრომატოგრაფია.

ქრომატოგრაფიის მეთოდების ამ ჯგუფს მიეკუთვნება დაყოფის ასეთი ხერხები, როგორიცაა:

1. განმეორებითი დაყოფა (ქრომატოგრაფია);
2. ორჯერადი ქრომატოგრაფია;
3. ლაქის გადატანა სხვა ქრომატოგრამაზე.

გ ა ნ მ ე ო რ ე ბ ი თ ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ა ს მიეკუთვნება ყველა ის ხერხი, რომლის დროსაც დაყოფას იმეორებენ პირველადაწყებითი მიმართულებით. მის მიზანს წარმოადგენს კომპონენტების მდიდარ ნივთიერებათა ნარევის სრულყოფილი დაყოფა. გამოყენებულ გამხსნელთა სისტემის მიხედვით ეს მეთოდი ორ ჯგუფად იყოფა:

1. დაყოფა ერთი და იგივე სისტემის გამხსნელით, იყენებენ დაბალი Rf-ის მქონე ნივთიერებათა მოძრაობის გასაზრდელად, აგრეთვე იმ ნივთიერებათა დასაყოფად, რომლებსაც მახლობელი Rf აქვთ.
2. დაყოფა სხვადასხვა სისტემის გამხსნელებით, თუ აუცილებელია რამდენიმე ნივთიერების დაყოფა, რომელთაგან ერთი კარ-

გად იხსნება ერთ სისტემაში, მეორე კი მეორეში, სისტემათა შესაბამისი შეცვლით აღწევენ მათ დაყოფას.

ორჯერადი ქრომატოგრაფიის შესაძლებლობა ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის ერთ-ერთი ძირითადი უპირატესობაა სხვა მეთოდებთან შედარებით. ორჯერად ქრომატოგრაფიაში იყენებენ კვადრატულ ქაღალდს, რომლის ერთ კუთხეში ათავსებენ საკვლევ სინჯს. განმეორებით დაყოფას აწარმოებენ პირველდაწყებითი მიმართულების პერპენდიკულარულად. ყოველივე ეს საშუალებას იძლევა ნივთიერებათა უფრო სრულყოფილი დაყოფისათვის, ვიდრე ერთჯერადი მეთოდები. ეს მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია მრავალკომპონენტიანი ნარევების დაყოფის დროს.

გამოყენებულ გამხსნელთა სისტემის მიხედვით ეს მეთოდიც ორ ჯგუფად იყოფა:

1. დაყოფა გამხსნელის ერთი და იგივე სისტემით ორი მიმართულებით. ამ მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია დამტკიცდეს: სხვადასხვა ნივთიერების, ერთი ნივთიერების სხვადასხვა ფორმის, თუ ერთი ნივთიერების ორ ლაქასთან გვაქვს საქმე, როცა ქრომატოგრამაზე ორ მახლობელ და მსგავს ლაქებს ვღებულობთ.

2. დაყოფა გამხსნელთა სხვადასხვა სისტემით. არჩევენ ისეთ ორ სისტემას, რომელშიც საკვლევი ნივთიერება შეძლებისდაგვარად სხვადასხვა მდებარეობის ლაქას იძლევა.

ლაქის გადატანა სხვა ქრომატოგრამაზე თავისი შედეგებით უახლოვდება ორჯერად ქრომატოგრაფიას იმ განსხვავებით, რომ იყენებენ ერთჯერადი ქრომატოგრაფიის კამერებს.

საკონტროლო ზოლიდან (ფლუორესცენციაზე და გამომჟღავნების შედეგებზე დაყრდნობით) ამოჭრიან ერთ ან რამდენიმე შეერთებულ ლაქას ამ ლაქებს ამაგრებენ ერთჯერად ქრომატოგრამაზე და გაყოფას აწარმოებენ სხვა გამხსნელის მეშვეობით.

გამომჟღავნება

როცა გამხსნელის ფრონტი მიუახლოვდება ქაღალდის მეორე ბოლოს, ქრომატოგრაფირება ითვლება დამთავრებულად. ქრომატოგრამა გამოაქვთ კამერიდან, ნიშნავენ გამხსნელის მდებარეობას (გამხსნელის ფრონტს) და აშრობენ.

შრობის პირობები დამოკიდებულია გამხსნელის აქროლადობის უნარზე. დასაყოფ ნივთიერებათა თვისებებზე და გამომჟღავნებელზე (აღმომჩენზე). ამიტომ ერთ შემთხვევაში შრობას აწარმოებენ ჰაერზე, მეორე შემთხვევაში — ამა თუ იმ ტემპერატურაზე მაშრობ კარადაში ჩაკიდებით; უმჯობესია გაშრობა ტემპერატურის რეგულატორისა და ვენტილაციის მქონე სპეციალურ მაშრობ კარადაში.

გაშრობის შემდეგ ახდენენ ქრომატოგრამის გამომჟღავნებას.

გამომჟღავნება საშუალებას იძლევა დავინახოთ ქრომატოგრამაზე ნივთიერებათა ლაქების განლაგება.

არსებობს გამომჟღავნების რამდენიმე მეთოდი:

1. ფიზიკური;
2. ქიმიური;
3. ფერმენტაციული და ბიოლოგიური

ფიზიკურ მეთოდებს მიეკუთვნება ულტრაიისფერი სხივებით ნივთიერებათა განლაგების აღმოჩენა, რომლის ზეგავლენით ერთნი იწყებენ ნათებას (სინათლის გამოსხივებას), მეორენი კი, სინათლის შთანთქმის გამო, წარმოშობენ ბნელ ლაქებს.

ქიმიური მეთოდით გამჟღავნებას აღწევენ რეაქტივების მეშვეობით, რომლებსაც საკვლევი ნივთიერებანი გადაჰყავთ შეფერილ ნაერთებში.

რეაქტივების გამოყენება ხორციელდება სხვადასხვა ხერხებით:

1. ორთქლის და აირის სახით;
2. რეაქტივის ხსნარში ჩაყურსვით;
3. ფუნჯით რეაქტივის გადატანით;
4. რეაქტივში დასველებულ ფირფიტაზე ქაღალდის დადებით;
5. ანაბეჭდის აღებით, რომელსაც შემდეგ ამჟღავნებენ შეფრქვევით;
6. ელექტრული დენის მეშვეობით

გამომჟღავნებლის ამორჩევა დამოკიდებულია დასაყოფი ნივთიერების ქიმიურ თვისებებზე. მაგალითად, აზოტშემცველი ჰეტეროციკლური ნაერთების აღმოსაჩენად ხშირად იყენებენ დრაგენდორფის რეაქტივს, ამინომჟავებისათვის — ნინჰიდრინს და ა. შ.

ფერმენტაციული და ბიოლოგიური მეთოდით გამომჟღავნების დროს პრინციპში შესაძლებელია:

1. ლაქის გამჟღავნება უშუალოდ ქაღალდზე;

2. გამეღავნება ანაბეჭდის გადატანის ან ლაქის შემცველობის ფოროვან გარემოში, ან გელში ადსორბციის შემდეგ;

3. ელუატის ანალიზი.

ფერმენტაციული გამეღავნებისათვის ქრომატოგრამას პრეპარატით შეაფრქვევენ ფერმენტს, აყოვნებენ სინამის და შეაფერისი ტემპერატურის პირობებში. თუ ქრომატოგრამაზე არის ნივთიერება, რომელიც ფერმენტის მოქმედებით გადადის ქრომოგენურ ან ფლუორესცირებულ ნივთიერებაში, ვღებულობთ გამეღავნებას.

ჰორმონალური და სხვა ბიოლოგიური ნივთიერებანი შეიძლება აღმოჩენილ იქნეს ქრომატოგრამის ჯერ გამოწვლილვით, შემდეგ კი ბიოლოგიური გამოკვლევის ჩატარებით.

სხვადასხვა კლასის ქიმიურ ნაერთთა გამოსამეღავნებლად ქრომატოგრამაზე რეაქტივთა ფართო ასორტიმენტია მოწოდებული სპეციალურ ლიტერატურაში (ჰაისი და მაცეკი — 1962). (გამოსამეღავნებელი რეაქტივები იხილეთ წიგნის დანართში).

გამომეღავნების შედეგად აღმოჩენილ ლაქებს დანიშნავენ ფანქრით და ქრომატოგრამას თავიდან აშრობენ, რის შემდეგაც გამოითვლიან ნივთიერების გადაადგილების კოეფიციენტს.

Rf-ის განსაზღვრა

ლაქის მდებარეობას ჩვეულებრივ ახასიათებენ Rf-ის კოეფიციენტით, რომელიც გამოისახება ნივთიერების მიერ განვლილი მანძილის შეფარდებით გამხსნელის მიერ განვლილ მანძილთან:

$$Rf = \frac{ab}{ac},$$

სადაც ab ნივთიერების მიერ განვლილი მანძილია, ხოლო ac — მანძილი სტარტიდან გამხსნელის ფრონტამდე.

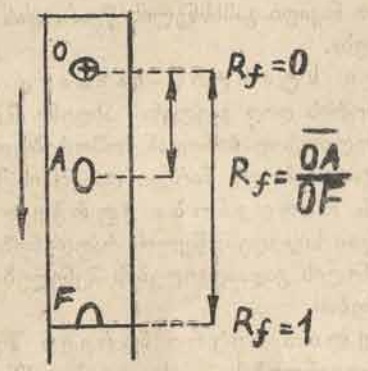
განმარტებიდან ჩანს, რომ Rf არის სიდიდე, რომელიც მეტია ნულზე და ნაკლებია ერთზე (ნახ. 35).

Rf-ს, რომელიც მეტია ერთზე, მხოლოდ გამონაკლის შემთხვევებში ვხვდებით. ამ მოვლენას ადგილი აქვს მაშინ, როცა გამხსნელთა ნარევი გვაძლევს ორ ფრონტს და Rf-ის გამოსაანგარიშებლად იღებენ ფრონტს, რომელიც უახლოესია სტარტთან.

Rf მოცემული ნივთიერებისათვის წარმოადგენს კონსტანტას, მხოლოდ ზუსტად განსაზღვრულ სტანდარტულ პირობებში. ამიტომაა, რომ სხვადასხვა ავტორს ერთი და იგივე სისტემისათვის Rf-ის სხვადასხვა მნიშვნელობები მოჰყავთ.

განვიხილოთ Rf-ზე მოქმედი ფაქტორები:

1. ქაღალდის სიგანე, ფორების ზომა, გაჯირჯვების უნარი და სისუფთავის ხარისხი ცვლის Rf სიდიდეს. მაგალითად, უფრო მკვრივი ქაღალდი იძლევა უფრო დაბალ Rf-ს.



ნახ. 35. ქრომატოგრამა ქაღალდზე

2. ტემპერატურა გავლენას ახდენს ფაზათა განაკვეთის სიდიდეზე, მათ შემადგენლობაზე, განაწილების კოეფიციენტზე, აქედან გამომდინარე Rf სიდიდეზეც.

3. დასაყოფი ნივთიერების რაოდენობა გარკვეულ გავლენას ახდენს Rf სიდიდეზე, მაგალითად, ამინომჟავების, შაქრებისა და სხვა ნივთიერებათა დაყოფისათვის, სადაც დაყოფა აიხსნება განაწილებით. ნივთიერების რაოდენობის გავლენა Rf-ზე უმნიშვნელოა. ზოგჯერ აღინიშნება Rf-ის მნიშვნელობის შემცირება სინჯის რაოდენობის გაზრდისას, მაგალითად, დინიტროფენილ-ჰიდრაზონების დაყოფისას აცეტილირებულ ქაღალდზე.

4. მ ი ნ ა რ ე ვ ე ბ ი ს ი ნ ჯ შ ი ზ ო გ ჯ ე რ თ ვ ი თ ლ ა ქ ა თ ა ურ თ ი-ერ თ მ დ ე ბ ა რ ე ო ბ ა ს ც ვ ლ ი ს. მ ა გ ა ლ ი თ ა დ, მ ჟ ა ვ ე ბ ი დ ა ფ უ ძ ე ე ბ ი ც ვ ლ ი ა ნ მ ჟ ა ვ ე დ ა ფ უ ძ ე ნ ი ვ თ ი ე რ ე ბ ა თ ა, ა გ რ ე თ ვ ე ა მ ი ნ ო მ ჟ ა ვ ა თ ა Ri-ის ს ი-დ ი დ ე ს.

5. კ ა მ ე რ ი ს ა ტ მ ო ს ფ ე რ ო ს გ ა ჯ ე რ ე ბ ი ს გ ა ვ ლ ე-ნ ა Rf-ის მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა ზ ე მ ე ტ ა დ ს ა ყ უ რ ა დ ღ ე ბ ო ა. ა ტ მ ო ს ფ ე რ ო ს ში წ ყ ლ ის დ ი დ ი რ ა ო დ ე ნ ო ბ ი თ შ ე მ ც ვ ე ლ ო ბ ა ზ რ დ ის Rf-ის მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო-ბ ა ს. მ ო ძ რ ა ვ ი ო რ გ ა ნ უ ლ ი გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ი თ ა ტ მ ო ს ფ ე რ ო ს ა რ ა ს ა კ მ ა რ ი ს მ ა გ ა ჯ ე რ ე ბ ა მ შ ე ი ძ ლ ე ბ ა გ ა მ ო ი წ ვ ი ო ს ლ ა ქ ა თ ა ე რ თ მ ა ნ ე თ თ ა ნ დ ა ა ხ ლ ო-ე ბ ა, რ ა დ გ ა ნ ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი რ ე ბ ის პ რ ო ც ე ს შ ი გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ი ო რ თ ქ ლ-დ ე ბ ა, ხ ო ლ ო მ ი ს ი ნ ა კ ა დ ი გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ის წ ყ ა რ ო დ ა ნ მ ო შ ო რ ე ბ უ ლ წ ერ-ტ ი ლ ე ბ შ ი მ ც ი რ დ ე ბ ა.

6. მ ა ნ ძ ი ლ ი ს ტ ა რ ტ ი ს ხ ა ზ ს ა დ ა გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ი ს ზ ე დ ა პ ი რ ს შ ო რ ის დ ი დ გ ა ვ ლ ე ნ ას ა ხ დ ე ნ ს Rf-ის ს ი დ ი დ ე ზ ე. მ ა-გ ა ლ ი თ ა დ, გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ის ზ ე დ ა პ ი რ ი დ ა ნ მ ო შ ო რ ე ბ უ ლ წ ერ ტ ი ლ ე ბ შ ი ა ღ-წ ევ ს წ ყ ლ ი თ გ ა ღ ა რ ი ბ ე ბ უ ლ ი ნ ა რ ე ვ ი დ ა Rf-ის ს ი დ ი დ ე მ ც ი რ დ ე ბ ა.

7. ხ ს ნ ა რ ი ს რ ა ო დ ე ნ ო ბ ა ჭ ურ ჭ ე ლ შ ი (გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ის ა-თ ვ ის) ც ვ ლ ის Rf-ის ს ი დ ი დ ეს; წ ყ ლ ის რ ა ო დ ე ნ ო ბ ის შ ე მ ც ი რ ე ბ ა გ ა ნ-ს ა ზ ღ ვ რ ა ვ ს გ ა მ ხ ს ნ ე ლ ის გ ა დ ა ა დ გ ი ლ ე ბ ის შ ე ნ ე ლ ე ბ ას დ ა Rf-ის ძ ნ ი შ ვ-ნ ე ლ ო ბ ის შ ე მ ც ი რ ე ბ ას.

8. გ ა მ ხ ს ნ ე ლ თ ა ბ ე ვ რ ი ნ ა რ ე ვ ი შ ე ნ ა ხ ვ ი ს ა ს ი ც-ვ ლ ის თ ა ვ ის შ ე მ ა დ გ ე ნ ლ ო ბ ას — „ძ ვ ე ლ დ ე ბ ა“ (მ ა გ ა ლ ი თ ა დ, ს პ ი რ ტ ე-ბ ი ს ა დ ა მ ჟ ა ვ ე ბ ის ნ ა რ ე ვ ი), გ ა მ ხ ს ნ ე ლ თ ა ნ ა რ ე ვ ის დ ა ძ ვ ე ლ ე ბ ა კ ი გ ა ე-ლ ე ნ ას ა ხ დ ე ნ ს Rf-ის ს ი დ ი დ ე ზ ე. ა მ ი ტ ო მ, ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ა რ ე ბ ის დ ა წ ყ ე ბ ის ა ს ს ა ს უ რ ვ ე ლ ი ა ჭ ურ ჭ ლ ის შ ი გ თ ა ვ ს ის შ ე ც ვ ლ ა.

გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ის ს ფ ე რ ო

ა მ ჟ ა მ ა დ ქ ა ღ ა ლ დ ზ ე დ ა ყ ო ფ ი თ ი ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ა ს უ ლ უ ფ რ ო ფ ა რ თ ო დ გ ა მ ო ი ყ ე ნ ე ბ ა მ ე ც ნ ი ე რ ე ბ ის ი ს ე თ დ ა რ გ ე ბ შ ი, რ ო გ ო რ ი ც ა ა წ ა მ ა ლ თ ა ქ ი მ ი ა, ბ ი ო ქ ი მ ი ა, ს ი ნ თ ე ზ უ რ ი ქ ი მ ი ა, ტ ე ქ ნ ო ლ ო გ ი ა, ს ა ს ა მ ა რ-თ ლ ო ქ ი მ ი ა, ა ნ ა ლ ი ზ უ რ ი ქ ი მ ი ა დ ა ს ხ ვ.

მ ი ს ი ს ა შ უ ა ლ ე ბ ი თ ა დ ვ ი ლ ა დ შ ე ს ა ც ნ ობ ი ა ი მ ნ ი ვ თ ი ე რ ე ბ ა თ ა ნ ა-რ ე ვ ი, რ ო მ ლ ე ბ ი ც თ ა ვ ი ა ნ თ ი ქ ი მ ი უ რ ი ა გ ებ უ ლ ე ბ ი თ ა დ ა ფ ი ზ ი კ უ რ ი თ ვ ის ებ ებ ი თ ძ ლ ი ერ ა ხ ლ ო ს ა რ ი ან ე რ თ ი მ ე ო რ ე ს თ ა ნ დ ა ს ხ ვ ა მ ე თ ო-დ ებ ი თ მ ა თ დ ა ყ ო ფ ა ს ა დ ა გ ა მ ო ც ნ ობ ა ს ვ ე რ ვ ა ღ წ ე ვ თ.

ქ ა ღ ა ლ დ ზ ე ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ის გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ა გ ა ნ ს ა კ უ თ რ ე ბ ი თ ა ღ-ს ა ნ ი შ ნ ა ვ ი ა წ ა მ ა ლ თ ა ა ნ ა ლ ი ზ ის პ რ ა ქ ტ ი კ ა შ ი. ა ქ ი გ ი გ ა მ ო ი ყ ე ნ ე ბ ა ს ა მ-კ უ რ ნ ა ლ ო ნ ი ვ თ ი ე რ ე ბ ა თ ა ს ის უ ფ თ ა ვ ის ა დ ა ი დ ე ნ ტ უ რ ო ბ ის დ ა ს ა დ-გ ე ნ ა დ; ნ ა ხ ე ვ რ ა დ რ ა ო დ ე ნ ო ბ ი თ ი დ ა რ ა ო დ ე ნ ო ბ ი თ ი ა ნ ა ლ ი ზ ის ა თ ვ ის ფ ო ტ ო მ ე ტ რ ი ა ს თ ა ნ კ ო მ ბ ი ნ ა ც ი ა შ ი. უ კ ა ნ ა ს კ ნ ე ლ წ ლ ებ შ ი ა მ ს ა კ ი თ ხ ის გ ა რ შ ე მ ო გ ა მ ო ქ ვ ე ყ ნ ებ უ ლ ი შ რ ო მ ებ ის რ ი ცხ ვ ი ყ ო ვ ე ლ დ ღ ე ი ურ ა დ ი ზ რ დ ე ბ ა. ა მ მ ე თ ო დ ს ი ყ ე ნ ებ ენ ლ ა ბ ო რ ა ტ ო რ ი ებ შ ი ის ე ვ ე ხ შ ი რ ა დ, რ ო გ ო რ ც კ ო ლ ო რ ი მ ე ტ რ ი ას დ ა, ალ ბ ა თ, უ ფ რ ო ხ შ ი რ ა დ, ვ ი დ რ ე ტ ი ტ-რ ა ც ი ას.

თ ბ ი ლ ის ის ს ა ხ ე ლ მ წ ი ფ ო ს ა მ ე დ ი ც ი ნ ო ინ ს ტ ი ტ უ ტ ის ფ ა რ მ ა ც ევ-ტ უ ლ ი ქ ი მ ი ის კ ა თ ე დ რ ა ზ ე ა. მ შ ვ ი დ ო ბ ა ძ ის, ბ. ჭ უ მ ბ ურ ი ძ ის დ ა ო. ს ა რ ჯ ვ ე ლ ა ძ ის მ ი ე რ შ ე ს წ ა ვ ლ ილ ი ქ ნ ა ქ ა ღ ა ლ დ ზ ე ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა-ფ ი უ ლ ა დ რ ი გ ი პ რ ე პ ა რ ა ტ ებ ი დ ა წ ა მ ლ ის ფ ო რ მ ებ ი: ს ი ნ თ ე ზ უ რ ი ან-ტ ი მ ა ლ ა რ ი უ ლ ი პ რ ე პ ა რ ა ტ ებ ი, ფ ე ნ ო თ ი ა ზ ი ნ ის წ ა რ მ ო ებ უ ლ ნ ი, პ ი რ ა-ზ ო ლ ო ნ ის ნ ა ერ თ ებ ი, ს პ ა ზ მ ო ლ ი ტ უ რ ი ს ა შ უ ა ლ ებ ა ნ ი, მ ო რ ფ ი ნ ის ს ი ნ-თ ე ზ უ რ ი ა ნ ა ლ ო გ ებ ი, ზ ო გ ი ერ თ ი ალ კ ა ლ ო ი დ ებ ი დ ა ს ხ ვ. მ ი ღ ებ უ ლ ი მ ო ნ ა ც ე მ ებ ი თ შ ე ს ა ძ ლ ებ ელ ი ა ა ღ ნ ი შ ნ უ ლ ი პ რ ე პ ა რ ა ტ ებ ის ა დ ა მ ა თ ი შ ე მ ც ვ ე ლ ი წ ა მ ლ ის ფ ო რ მ ებ ის თ ვ ის ობ რ ი ვ ი გ ა მ ო კ ვ ლ ევ ა დ ა ს ი წ მ ი ნ-დ ის დ ა დ გ ე ნ ა.

ფ. შ ე მ ი ა კ ი ნ ის, ა. კ ა რ პ ო ვ ის, ა. ბ რ უ ს ე ნ ც ო ვ ის, ვ. ბ ო გ დ ა ნ ო ვ ას დ ა თ. ლ ო ბ ა ხ ი ნ ას მ ი ე რ შ ე ს წ ა ვ ლ ილ ი ქ ნ ა მ რ ა ვ ა ლ ს ა მ კ უ რ ნ ა ლ ო მ ც ე-ნ ა რ ე თ ა გ ა მ ო ნ ა წ ვ ლ ილ ი ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი უ ლ ი დ ა ლ უ მ ი ნ ე ს ც ე ნ ტ უ რ ი მ ე თ ო დ ი თ.

მ. კ უ ლ ე შ ო ვ ამ შ ე ი ს წ ა ვ ლ ა Ri-ის ს ი დ ი დ ის დ ა მ ო კ ი დ ებ უ ლ ებ ა pH-თ ან ბ უ ფ ე რ ი ან ქ ა ღ ა ლ დ ებ ზ ე რ ი გ ი ს ა მ კ უ რ ნ ა ლ ო პ რ ე პ ა რ ა ტ ებ ი-ს ა თ ვ ის (მ ო რ ფ ი ნ ი, ა ნ ა ლ გ ი ნ ი, პ რ ო მ ე დ ო ლ ი, ფ ე ნ ა დ ო ნ ი, უ რ ო ტ რ ო პ ი-ნ ი, პ ი რ ა მ ი დ ო ნ ი, კ ო დ ე ი ნ ი, პ ლ ა ტ ი ფ ი ლ ი ნ ი. ს ა ლ ს ო ლ ი ნ ი, ს ა ლ ს ო ლ ი-დ ი ნ ი, დ ი ო ნ ი ნ ი, პ ა პ ა ვ ე რ ი ნ ი, დ ი ბ ა ზ ო ლ ი, ა ტ რ ო პ ი ნ ი, ე ფ ე დ რ ი ნ ი, კ ო-ფ ე ი ნ ი დ ა ფ ე ნ ა ც ე ტ ი ნ ი). დ ა დ გ ე ნ ილ ი ქ ნ ა, რ ო მ pH-ის 2—5-მ დ ე ფ ა რ გ ლ ებ შ ი შ ე ს ა ძ ლ ებ ელ ი ა მ ი ღ ებ უ ლ ი ქ ნ ეს მ კ ვ ე თ რ ა დ გ ა მ ო ს ა ხ უ ლ ი ლ ა ქ ებ ი ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა მ ა ზ ე.

ბ უ ლ გ ა რ ე ლ ი მ კ ვ ლ ევ ა რ ებ ის კ ო ლ ჩ ევ ის დ ა ბ ე ნ ჩ ევ ის მ ი ე რ ქ ა-ღ ა ლ დ ზ ე ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი ის მ ე თ ო დ ი გ ა მ ო ყ ე ნ ებ უ ლ ი ქ ნ ა ტ ა ბ ლ ე-ტ ებ ის დ ა ფ ხ ვ ნ ი ლ ებ ის ა ნ ა ლ ი ზ ის ა თ ვ ის, რ ო მ ე ლ თ ა შ ე მ ა დ გ ე ნ ლ ობ ა შ ი შ ე დ ი ხ ა ს პ ი რ ი ნ ი, ფ ე ნ ა ც ე ტ ი ნ ი, კ ო დ ე ი ნ ი, კ ო ფ ე ი ნ ი, პ ა პ ა ვ ე რ ი ნ ი, დ ი-

ონინი. ქრომატოგრამის გამოსამჟღავნებლად იყენებენ დრაგენდორ-ფის სახეშეცვლილ რეაქტივს.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფია წარმატებით გამოიყენება გლუკოზიდების შემცველი პრეპარატების ანალიზში. იგი საშუალებას იძლევა ჩატარდეს მათი თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზი, დადგინდეს მათი იგივეობა და კეთილხარისხოვნება, პრეპარატების წარმოებისას ჩატარდეს ტექნოლოგიური პროცესის კონტროლი.

გ. ნიკონოვმა შეისწავლა ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის გამოყენება ალკალოიდების ანალიზში. ეს მეთოდი ამარტივებს ალკალოიდების ანალიზს. იგი საშუალებას იძლევა ალკალოიდების იგივეობის დადგენის და სისუფთავის შემოწმებისა ისეთი მცირე რაოდენობით, როგორიცაა 0,001—0,05 მგ.

ფ. შემიაკინის მიერ ჩამოყალიბებულ იქნა ქიმიურ-ფარმაცევტულ მრეწველობაში ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის გამოყენების შესაძლებლობანი. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ანალგეტურა, საანესთეზიო, ბარბიტურატების, გალენური პრეპარატების, ნარკოტიკების, სულფანილამიდების, არაორგანული და ორგანული მჟავების ანალიზში. იგი საშუალებას იძლევა დადგენილ იქნეს ფარმაცევტული ქარხნებისათვის სამკურნალო და ქიმიური ნედლეულის იგივეობა და მათში სხვადასხვა მინარევების არსებობა.

ქრომატოგრაფია ქაღალდზე უზრუნველყოფს კლინიკურ გამოკვლევებში მთელი რიგი საკითხების გადაწყვეტას. მისი მეშვეობით შესაძლებელი ხდება ორგანიზმის სითხეების შესწავლა და მათში სამკურნალო ნივთიერებების მეტაბოლიტების არსებობის დადგენა.

ამჟამად ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის მეთოდი იმდენად ფართოდ გამოიყენება, რომ შეუძლებელია ამ შრომების თუნდაც მცირე ნაწილის მოყვანაც კი.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიამ დიდი გამოყენება ჰპოვა ანტიბიოტიკების, ვიტამინების, ჰორმონების, ამინომჟავების, ცილებისა და პეპტიდების გამოკვლევაში.

ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის გამოყენება რაოდენობით ანალიზში

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის მეთოდი გამოიყენება არა მარტო პრეპარატის და წამლის ფორმათა

იდენტიფიკაციისა და სიწმინდის განსასაზღვრავად, არამედ რაოდენობით ანალიზშიც.

გამოსაკვლევი ნარევის შემადგენელ ნივთიერებათა მიახლოებითი რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის ქრომატოგრაფირებას შემდეგნაირად ატარებენ: ქაღალდზე გამოსაკვლევი ნარევის სინჯის გვერდით შეაქვთ გამოსაკვლევი ნივთიერებების სტანდარტულ ხსნართა სინჯები. ქრომატოგრაფირების ჩატარებისა და გამომჟღავნების შემდეგ ადარებენ ლაქათა ზომებს და შეფერვის ინტენსიურობას. ლაქების ზომათა შედარებას ახდენენ პლანიმეტრით მილიმეტრიანი ქაღალდის დახმარებით ან ვიზუალურად. ნარევში ნივთიერების რაოდენობის გამოანგარიშებისას თვლიან, რომ ლაქის სიდიდე პროპორციულია მასში ნივთიერების რაოდენობისა. აღნიშნული მეთოდი გამოსადეგია იმ ნივთიერებათა განსაზღვრისათვის, რომლებიც ნარევში შედარებით მცირე რაოდენობითაა. უმთავრესად იგი გამოიყენება მცენარეულ ნედლეულში ალკალოიდებისა და სხვა ნივთიერებათა მიახლოებითი განსაზღვრისათვის, აგრეთვე მინარევების განსაზღვრისათვის ნივთიერებაში.

გამოსაკვლევ ნივთიერებათა ზუსტი რაოდენობის განსაზღვრისათვის, გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, საჭიროა:

1. სინჯის ზუსტი რაოდენობის შეტანა ქაღალდზე;
2. ქრომატოგრამიდან გამოსაკვლევ ნივთიერებათა რაოდენობრივი გამოწვლილვა;
3. მიღებულ გამონაწვლილებში გამოსაკვლევი ნივთიერებების კონცენტრაციის განსაზღვრა შესაბამისი მეთოდებით (ფოტომეტრია, სპექტროფოტომეტრია, პოლაროგრაფია, პლანიმეტრია).

ქრომატოგრამის რეაქტივები და გამომჟღავნების მეთოდები

(მოყვანილი მ ა ც ე ე კ ი ს მიხედვით)

ზ ო გ ა დ ი რ ე ა ქ ტ ი ვ ე ბ ი

1. გ ო გ ი რ დ მ ჟ ა ვ ა. კონცენტრირებული გოგირდმჟავით შესვლებულ მინის ფირფიტაზე ათავსებენ ქრომატოგრამას. კიდევ უმატებენ წვეთობით გოგირდმჟავას და ქაღალდს ასწორებენ ფირფიტაზე მინის ან ფაიფურის შპადელით. ქრომატოგრამას აფარებენ

მეორე მინის ფირფიტას. ქრომატოგრამას აკვირდებიან ხილვად და აგრეთვე ულტრაიისფერ შუქზე.

ამ რეაქტივით მეღავნდება სტეროიდები, ალკალოიდები და რიგი სხვა ნაერთები.

2. ი ო დ ი. ა) ქრომატოგრამას სწრაფად ჩაყურსავენ 0,3% იოდის ხსნარში, კალიუმ იოდის — 5% ხსნარში, შემდეგ ჩარეცხავენ წყლით ფონის სრულ გაუფერულებამდე, რისთვისაც რამდენიმე წუთია საჭირო. რეაქტივი გამოიყენება წყალში ძნელადხსნად ნივთიერებათა ანალიზისათვის.

ბ) ქრომატოგრამას ათავსებენ კამერაში, რომელიც გაჟღენთილია იოდის ორთქლით (კამერის ფსკერზე ათავსებენ იოდის კრისტალებს); მეღავნდება სტეროიდები, ალკალოიდები, მეოთხადი ამინები (ქოლინი, თიამინი) და სხვ.

3. ვ ე რ ცხ ლ ის ნ ი ტ რ ა ტ ი. ვერცხლის ნიტრატის 0,1 ნ ხსნარს შეურევენ ამიაკის 5 ნ ხსნართან (1 : 1). საანალიზო ნივთიერების თვისების შესაბამისად ქრომატოგრამას ამუშავებენ ამ რეაქტივით ოთახის ტემპერატურაზე ან 105°-ზე 5—10 წუთით გაცხელებით. ნივთიერებანი, რომლებიც ვერცხლის ნიტრატის ამიაკიანი ხსნარით განიცდიან აღდგენას, გამომეღავნდება ყავისფერი ლაქის სახით.

ს პ ი რ ტ ე ბ ი ს გ ა მ ო ს ა მ ე ღ ა ვ ნ ე ბ ე ლ ი

4. 1-ნ ა ფ ტ ი ლ ა მ ი ნ ი. ქრომატოგრამას ასხურებენ 1-ნაფტილამინის 1%-იანი ხსნარით ეთანოლში. ამ დროს 3,5 დინიტრობენზოატები იძლევიან მოყავისფრო წითელ შეფერადებას. შეფერვის ინტენსივობა იზრდება ქრომატოგრამაზე ნატრიუმის ჰიდროჟანგის 10%-იანი ხსნარის მისხურებით.

5. მ ა ლ ო ნ ი ს მ ჟ ა ვ ა ს დ ი ე თ ი ლ ე თ ე რ ი. ქრომატოგრამას პირველად ასხურებენ მალონის მჟავას დიეთილეთერის 10% ხსნარით ეთანოლში და შემდეგ მაშინვე ნატრიუმის ჰიდროჟანგის 10% წყლიან ხსნარით. მაშრობ კარადაში ქრომატოგრამის 5 წუთით გახურებით მეღავნდება მოწითალო-იისფერი ლაქის სახით.

ა ლ ი ფ ა ტ უ რ ი მ ჟ ა ვ ე ბ ი

6. მ ე თ ი ლ წ ი თ ე ლ ი დ ა ბ რ ო მ თ ი მ ო ლ ლ უ რ ჯ ი. 0,2 გ. მეთილწითელს და 0,2 გ ბრომთიმოლლურჯს ხსნიან ფორმალინის 100 მლ და ერთანოლის 400 მლ ნარევში, უმატებენ 0,1 ნ ნატრიუმის ჰიდროჟანგს pH-5,2-მდე.

ამ ხსნარით ქრომატოგრამის ხელმეორედ მისხურებისას მჟავათა ამინიუმის მარილები მეღავნდება ყვითელი ლაქის სახით ვარდისფერ ფონზე. ამიაკის ორთქლით დამუშავების შედეგად წარმოიქმნება ნარინჯისფერი ლაქა მუქ-ალვანე ფონზე.

1. რ კ ი ნ ი ს (III) ქ ლ ო რ ი დ ი. ქრომატოგრამაზე სამქლორკინის 10% ხსნარის მისხურებით ოქსიმჟავები წითელი ფერის ლაქას ქმნიან ყვითელ ფონზე. შეფარდება მდგრადია რამდენიმე დღე.

8. რ ო დ ა მ ი ნ ი B. ქრომატოგრამას ჩაყურსავენ როდამინ B-ს 0,5% წყლიან ხსნარში და შემდეგ აშრობენ ჰაერზე. ამ დროს ნაჯერი, უჯერი და ბრომჩანაცვლებული მჟავები წარმოქმნიან თეთრ ლაქას წითელ ფონზე, ულტრაიისფერ შუქზე კი — ლურჯ ლაქას წითელ ფონზე. ანალოგიურად რეაგირებენ მაღალი ალიფატური სპირტებიც.

9. ფ ო ს ფ ო რ მ ო ლ ი ბ დ ე ნ მ ჟ ა ვ ა. ა) ქრომატოგრამას ჩაყურსავენ ფოსფორმოლიბდენ მჟავას 1% ეთანოლ-ქლოროფორმიან (1 : 1) ხსნარში, შემდეგ რეცხავენ გამდინარე წყლით 15 წუთის განმავლობაში. ამ ქრომატოგრამის ჩაყურსვით კალას ქლორიდის 1% ხსნარში 3 ნ ქლორწყალბადმჟავაში ფოსფოლიპიდები ლურჯად იფერებიან; მსგავსად რეაგირებენ ამ რეაქტივთან მესამადი ამინები და მეოთხადი აზოტშემცველი ფუძეები.

ბ) ქრომატოგრამას შეასხურებენ ფოსფორმოლიბდენ მჟავას 1% ხსნარით ეთანოლში და შემდეგ აცხელებენ 90° 5 წუთით. ნაღვლის მჟავები წარმოქმნის ლურჯ შეფერვას მომწვანო-ყვითელ ფონზე. აღმოსაჩენი მინიმუმი 1—2 მკგ.

10. ა ნ ი ლ ი ნ ი — შ ა ქ ა რ ი. ანილინის 5 გ და აღდგენადი შაქრის (უმჯობესია ქსილოზები) 5 გ ხსნიან 50% ეთანოლში. ამ ხსნარით შესხურებულ ქრომატოგრამას ახურებენ 125—130°-მდე. მჟავები წარმოქმნის ყავისფერ ლაქებს.

ნახშირწყლები

11. 3,5 დინიტრო სალიცილის მჟავა. ქრომატოგრამას შეასხურებენ 3,5 დინიტროსალიცილის მჟავას 0,5% ხსნარით 4% ნატრიუმის ჰიდროჟანგში, აყოვნებენ მოკლე დროით ჰაერზე. რის შემდეგ აშრობენ მაშრობ კარადაში 100°-ზე 5 წუთით. აღდგენადი შაქრები ამ დროს წარმოქმნიან ყავისფერ ლაქას ყვითელ ფონზე. აღმოსაჩენი მინიმუმი დაახლოებით 1 მკგ.

12. ბრომფენოლ ლურჯი—ბორმჟავა. ბრომფენოლ ლურჯის 40 მგ (ან ბრომკრეოზოლ მწვანე) ხსნიან 10 მლ ეთანოლში. ხსნარს უმატებენ 100 მგ ბორმჟავას, 7,5 მლ ბორაქსის 1% ხსნარს და ეთანოლით შეავსებენ 100 მლ-მდე. საქაროსპირტები წარმოქმნის ყვითელ ლაქას ლურჯ ფონზე.

13. α—ნაფტოლი. α-ნაფტოლის 1%-იან ხსნარს უმატებენ ფოსფორმჟავას 10% ხსნარს. ამ რეაქტივით მჟღავნდება კეტოზები 90°-ზე გახურებით.

14. ანტრონი. ანტრონის 300 მგ ხსნიან დუღილით ყინულოვანი ძმარმჟავას 10 მლ-ში, შემდეგ ხსნარს უმატებენ 20 მლ ეთანოლს, 3 მლ ფოსფორმჟავას და 1 მლ წყალს. ხსნარს ტოვებენ მაცივარში რამდენიმე კვირით. ამ დროს კრისტალების გამოყოფას შემთხვევაში ხსნიან გაცხელებით. ქრომატოგრამას აცხელებენ 110°-ზე 5—6 წუთით. კეტოზები წარმოქმნის ყვითელი ფერის ლაქებს. ქრომატოგრამა შეიძლება შეინახოს მხოლოდ წყლით გარეცხვის შემდეგ.

აღმოსაჩენი მინიმუმი დაახლოებით 5 მკგ-ს ტოლია.

15. შარდოვანა. 5 გ შარდოვანას ხსნიან 20 მლ 2 ნ ქლორწყალბადმჟავასა და 100 მლ ეთანოლში. ქრომატოგრამაზე ამ რეაქტივთან კეტოზები და ოლიგოსაქარიდები, რომლებიც კეტოზებს შეიცავს, ლურჯად იფერება.

16. ჰიდროქსილამინი. ქრომატოგრამას შეასხურებენ ახლად მომზადებული ხსნარით, რომელიც შეიცავს 1 ნ ქლორწყალბადმჟავას ჰიდროქსილამინის მეთანოლიანი ხსნარის და 1,1 ნ კალიუმის ჰიდროჟანგის მეთანოლში ტოლ მოცულობებს. შემდეგ ქრომატოგრამას აშრობენ ჰაერზე 10 წუთს, რის შემდეგ შეასხურებენ სამქლორრკინის 1—2%-იანი ხსნარით 1% ქლორწყალბადმჟავაში. ლაქტონები და მჟავათა ეთერები ლურჯ შეფერვას იძლევიან.

17. ქლორწყალბადმჟავა. ქრომატოგრამას შეასხურებენ ქლორწყალბადმჟავას ხსნარით ეთანოლში (1 : 4) და შემდეგ აცხელებენ 20°-მდე. გლიკოლები ვარდისფრად იფერება.

18. დიმეთილამინი. ქრომატოგრამას შეასხურებენ რეაქტივით, რომელიც წარმოადგენს დიმეთილამინის 2%-იან ხსნარს ძმარმჟავას 2%-იან სამქლორძმარმჟავას 5% ხსნარში. შემდეგ ქრომატოგრამას ახურებენ 100°-მდე. რეაქტივი გამოიყენება მეთილირებული შაქრების აღმოსაჩენად.

19. ტოლუიდინ ლურჯი. უკეთ შეღებვისათვის ქრომატოგრამას ჩაყურსავენ 15 წუთით 20 მლ ფორმალინისა და 80 მლ აბსოლუტური ეთანოლის ნარევში. გაშრობის შემდეგ ქრომატოგრამას ასხურებენ ტოლუიდინ ლურჯის ხსნარით (40 მგ ტოლუიდინ ლურჯი უნდა გაიხსნას 60 მლ აცეტონისა და 20 მლ წყლის ნარევში), ჭარბ საღებავს აცილებენ წყლით ჩარეცხვით. გამოიყენება მჟავა პოლისაქარიდების გამოსამჟღავნებლად.

ფენოლები და არომატული მჟავები

20. რკინის ჟანგის ქლორიდი. ქრომატოგრამის შესასხურებლად გამოიყენება: ა) სამქლორრკინის 0,1% ხსნარი წყალში; ბ) სამქლორრკინის 2% ხსნარი წყალში; გ) სამქლორრკინის 1% ხსნარი ეთანოლში.

ქრომატოგრამაზე წარმოიქმნება ლურჯი-იისფერი შეფერადება.

21. ფოლინ-დენისის რეაქტივი. 10 დ ნატრიუმვოლფრამატს, 2 გ ფოსფორმოლიბდენმჟავას, 5 გ 85% ფოსფორმჟავას და 75 მლ წყალს ადუღებენ 2 საათი, ფილტრავენ, ანზავებენ წყლით 100 მლ-მდე. მისხურებისათვის იყენებენ ნარევს, რომელიც შედგება 1 ნაწილი აღნიშნული რეაქტივის, 1 ნაწილი წყლისა და 2 ნაწილი ეთანოლისაგან. მისხურების შემდეგ ქრომატოგრამაზე მოქმედებენ ამონიაკით. რეაქტივი ამჟღავნებს აგრეთვე თიროზინსა და ტრიფტოფანს, მხოლოდ რეაქციის მგრძნობიარობა დიდი არ არის.

22. რკინაამონიუმის შაბი. რკინაამონიუმის შაბის 0,2% ხსნარი წყალში ამჟღავნებს ფლავონოიდებს ქრომატოგრამაზე.

23. ალუმინის ქლორიდი. ფლავონოიდების გამოსამჟღავნებლად იყენებენ ალუმინის ქლორიდის 1%-იან ხსნარს ეთანოლში.

24. ამონიუმის ვანადატი. ქრომატოგრამას ასხურებენ ამონიუმის ვანადატის მაძღარი ხსნარით. ამჟღავნებს ფლავონოიდებს.

25. ვანილინი. მისასხურებლად გამოიყენება ვანილინის 1%-იანი ხსნარი კონცენტრირებულ ქლორწყალბადმჟავაში. მისხურების შემდეგ ქრომატოგრამას აშრობენ ოთახის ტემპერატურაზე. კატექინებთან იძლევა ინტენსიურ წითელ შეფერადებას.

26. კალიუმის ჰიდროჟანგი. ქრომატოგრამას ასხურებენ კალიუმის ჰიდროჟანგის 1%-იანი ხსნარით ეთანოლში და აშრობენ მაშრობ კარადაში. აკვირდებიან კუმარინის ფლუორესცენციას ულტრაიისფერ შუქზე.

27. ბენზიდინი. მისასხურებლად ამზადებენ ნარევს, რომელშიც შედის 0,5 გ ბენზიდინი, 20 მლ ყინულოვანი ძმარმჟავა და 80 მლ ეთანოლი. ფლუორესცენციის ინტენსიურობისათვის უმატებენ განზავებულ ქლორწყალბადმჟავას. რეაქციის მგრძნობიარობა დაახლოებით 1 მკგ. გამოიყენება ფლავონოიდების, შაქრების, ალდეჰიდების და სხვ. აღმოსაჩენად.

სტეროიდები

28. ფოსფორმჟავა. ქრომატოგრამას სწრაფად ასხურებენ ფოსფორმჟავას 15%-იანი ხსნარით და აყოვნებენ 20 წუთის განმავლობაში 90°-ზე. აკვირდებიან ფლუორესცენციას ულტრაიისფერ შუქზე.

29. სამქლორსტიბიუმი. ქრომატოგრამას ამოავლებენ სამქლორსტიბიუმის ქლოროფორმიან ნაჯერ ხსნარში და აცხელებენ 90°-ზე 4 წუთის განმავლობაში. დაკვირვება შეიძლება როგორც ხილვად, აგრეთვე ულტრაიისფერ შუქზე.

29. მეტა-დინიტრობენზოლი. ა) ქრომატოგრამას ასხურებენ მეტა-დინიტრობენზოლის 2%-იანი ხსნარით აბსოლუტურ ეთანოლში და გაშრობის შემდეგ — 2,5 ნ კალიუმის ჰიდროჟანგით. შემდეგ ქრომატოგრამას ათავსებენ მაშრობ კარადაში 70—100°-ზე

ლაქების წარმოქმნამდე. მიიღება ინტენსიური მოწითალო-იისფერი შეფერადება.

ბ) ქრომატოგრამას ასხურებენ მეტა-დინიტრობენზოლის 10%-იანი ხსნარით ბენზოლში, აშრობენ 60—70°-ზე 5—10 წუთს და შემდეგ მიასხურებენ ხსნარით, რომელიც შედგება 6 გ ნატრიუმის ჰიდროჟანგის, 25 მლ წყლისა და 45 მლ მეთანოლისაგან.

მეთოდი გამოიყენება სტეროიდული გლუკოზიდების გამომჟღავნებისათვის.

30. ქლორამინი-სამქლორძმარმჟავა. მისასხურებლად გამოიყენება ახლად მომზადებული ნარევი ქლორამინის 3%-იანი წყალხსნარისა და 20%-იანი სამქლორძმარმჟავასი (1 : 4). აცხელებენ 10 წუთს 120°-ზე და აკვირდებიან ხილვად და ულტრაიისფერ შუქზე. ამჟღავნებს სტეროიდულ გლუკოზიდებს.

ამინები

31. ნატრიუმ-ნიტროპრუსიდი. აცეტალდეჰიდის 10%-იან წყლიან ხსნარში ხსნიან 5% ნატრიუმ-ნიტროპრუსიდს და ხმარებას წინ უმატებენ 2% ნატრიუმკარბონატს. მისხურების შემდეგ მეორადი ამინები იძლევა ლურჯ შეფერადებას.

32. დიპიკრილამინი. მისასხურებელი ხსნარი — 0,2 გ დიპიკრილამინს ხსნიან 50 მლ აცეტონისა და 50 მლ ორჯერ გამოხდილი წყლის ნარევში. ქოლინი და მისი წარმოებულები წარმოქმნიან წითელ ლაქას ყვითელ ფონზე.

33. პარა-დიმეთილამინობენზალდეჰიდი. ა) 1 გ პარა-დიმეთილამინობენზალდეჰიდს ხსნიან 30 მლ ეთანოლში. მიღებულ ხსნარს ასხამენ 30 მლ კონცენტრირებულ ქლორწყალბადმჟავაში და აზავებენ 180 მლ ორჯერ გამოხდილი ნ — ბუთანოლით. რეაქტივს აყოვნებენ რამდენიმე კვირას. გარდა არომატული ამინებისა, რეაქტივი მოქმედებს შარდოვანასთან. ჰიდრაზინთან, ინდოლის ნაერთებთან, ჭვავის რქის ალკალოიდებთან და სხვ. არომატულ ამინებთან მოწითალო-ნარინჯისფერ შეფერადებას წარმოქმნის.

34. დიაზორეაქცია. ქრომატოგრამას ასხურებენ ახლად მომზადებული ნატრიუმნიტრიტის 1% ხსნარით 1 ნ ქლორწყალბად-

მჟავაში. დაახლოებით 1 წუთის შემდეგ ქრომატოგრამას მიასხურებენ β-ნაფტოლის ხსნარით 1 ნ ნატრიუმის ჰიდროჟანგში, რის შემდეგ აშრობენ 60°-ზე. გამოიყენება სულფანილამიდების გამოსამჟღავნებლად.

ამინომჟავები

35. ნ ი ნ ჰ ი დ რ ი ნ ი. ა) გამომჟღავნებისათვის გამოიყენება ნინჰიდრინის 0,2% ხსნარი აბსოლუტურად სუფთა ნ-ბუთანოლში თუ იგი შეიცავს მინარევებს, გამოხდიან მეტალური ნატრიუმის თანამყოფობით. რადგან ოთახის ტემპერატურაზე რეაქცია ნელა მიმდინარეობს, დაჩქარებისათვის აცხელებენ 60°-მდე.

ბ) უკეთესი შედეგები მიიღება ნინჰიდრინის 0,2% აცეტონიანი ხსნარის გამოყენებით.

გ) კარგად გამოხატულ ლაქებს წარმოქმნის აგრეთვე 0,4 ვ ნინჰიდრინის, 10 გ ფენოლის და 90 გ ნ-ბუთანოლის ნარევი.

36. ტ რ ო პ ე ო ლ ი ნ ი 00. ქრომატოგრამას ჩაყურსავენ ხსნარში (15 მგ ტროპეოლინი 100 მლ ეთანოლისა და ეთერის ნარევში) (1 : 2) და შემდეგ ამუშავებენ 3 ნ ქლორწყალბადმჟავას ორთქლით. ამინომჟავები წარმოქმნის ყვითელ ლაქას წითელ ფონზე.

ცილები და ფერმენტები

37. პ ა რ ა-ნ ი ტ რ ო ფ ე ნ ი ლ სტეარატი. ქრომატოგრამას ასხურებენ პარა-ნიტროფენილ სტეარატის 1%-იანი ხსნარით. ნესტიან კამერაში 40°-ზე ინკუბაციის შედეგად ლიპაზები ყვითელ ლაქას წარმოქმნის, რომლის ინტენსიობა ძლიერდება ამიაკის მოქმედებით.

38. ს ა ხ ა მ ე ბ ე ლ ი-ი ო დ ი. ქრომატოგრამას ასხურებენ სახამებლის 2%-იანი ხსნარით. ქაღალდს აყოვნებენ ნესტიან კამერაში 40—50°-ზე 20—60 წუთით, გაშრობის შემდეგ ქრომატოგრამას მიასხურებენ იოდის 0,05 მოლ ხსნარით. ამილაზები მჟღავნდება თეთრი ლაქის სახით იისფერ ფონზე, რომელიც ყავისფერში გადადის.

39. ფ ე ნ ო ლ ფ ტ ა ლ ე ი ნ ი ს ფ ო ს ფ ა ტ ი. აგარის ფირფიტას ამზადებენ 2 გ აგარ-აგარისა, 0,1 ფენოლფტალეინ-ფოსფატ-ნატრიუმისა და 30 მლ 0,02 მოლ აცეტატური ბუფერისაგან pH-ით

5,2, მჟავა ფოსფატაზას შემთხვევაში. ან 30 მლ გლიკოკოლურ ბუფერს pH-ით 9,2, რომელიც შეიცავს 0,58% ნატრიუმქლორიდს, ფუძე ფოსფატაზისათვის. ხსნარს შეავსებენ წყლით 100 მლ-მდე. ავტოკლავში გაცხელების შემდეგ ხსნარს ასხამენ მინის ფირფიტებზე და აცივებენ. ამ ფირფიტაზე ადებენ ქრომატოგრამას და აყოვნებენ 7—12 საათს ოთახის ტემპერატურაზე. ამის შემდეგ ქაღალდს ფრთხილად აიღებენ, რომ არ დაიშალოს აგარის ფენა, და ასხურებენ 0,1 ნ ნატრიუმის ჰიდროჟანგით. გამომჟღავნდება ფოსფატაზათა ლაქები.

40. ჟ ე ლ ა ტ ი ნ ი. გამოუმჟღავნებელ კინოლენტს შეასველებენ ფოსფატური ბუფერით pH-6,8 და ადებენ ქრომატოგრამაზე, რომელიც შესველებულია იმავე ბუფერით. შემდეგ ქაღალდს ტოვებენ ნესტიან კამერაში, რომელიც დადგმულია თერმოსტატში 30°-ზე. 20—60 წუთის შემდეგ ჟელატინის ფენა იხსნება იმ ადგილებზე, სადაც პროტეოლიზური ფერმენტია. ამგვარად, ჟელატინის მუქ ფენაში გამოჩნდება გამჭვირვალე ლაქები.

41. რ ძ ე-გ ე ნ ც ი ა ნ-ი ი ს ფ ე რ ი ი ო დ ი. ქრომატოგრამას ასხურებენ მშრალი რძის ახლად მომზადებული 10%-იანი ხსნარით, რომელიც 2,2% კალიუმის ქლორიდს შეიცავს, ათავსებენ ნამიან კამერაში, თერმოსტატში 45°-ზე 10—60 წუთით, რის შემდეგ ასხურებენ გენციან-იისფერი იოდის ხსნარით. პეფსინი და რენინი მჟღავნდება იისფერ ლაქებად ვარდისფერ ფონზე.

ალკალოიდები

42. დ რ ა გ ე ნ დ ო რ ფ ი ს რ ე ა ქ ტ ი ვ ი.

ა) ხ ს ნ ა რ ი I. 850 მგ ბისმუთის ფუძიან ნიტრატს ხსნიან 40 მლ წყლისა და 10 მლ ძმარმჟავას ნარევში.

ხ ს ნ ა რ ი II. 8 გ კალიუმიოდიდს ხსნიან 20 მლ წყალში.

ორივე ხსნარს შეურევენ და ინახავენ ფერად შუშაში, როგორც სათადარიგოს. შესხურებისათვის იღებენ ამ ხსნარის 10 მლ, უმატებენ 20 მლ ძმარმჟავას და 100 მლ წყალს. ალკალოიდები იძლევა წითელ შეფერადებას ყვითელ ფონზე.

ბ) ხ ს ნ ა რ ი I. 1,7 გ ბისმუთის ფუძიან ნიტრატს და 20 გ ღვინის მჟავას ხსნიან 80 მლ წყალში.

ხ ს ნ ა რ ი II. 16 გ კალიუმიოდიდს ხსნიან 40 მლ წყალში.

ორიკე ხსნარს შეურევენ და ინახავენ სარეზერვოდ. შესასხურებლად იღებენ ამ ხსნარის 10 მლ, უმატებენ 20 გ ღვინის მჟავას და 100 მლ წყალს. სარეზერვო ხსნარი მდგრადია რამდენიმე თვე, ხოლო განზავებული — რანდენიმე კვირა.

43. ნიტროპრუსიდ-ნატრიუმი — სამქლორძმარმჟავა. შესასხურებლად იხმარება ნიტროპრუსიდ-ნატრიუმის 3% ხსნარი 50%-იან სამქლორძმარმჟავაში.

გოგირდშემცველი ორგანული ნაერთები.

44. ნიტროპრუსიდ-ნატრიუმი-ნატრიუმ ციანიდი. ა) 1,5 გ ნიტროპრუსიდ-ნატრიუმს ხსნიან 5 მლ 2 ნ გოგირდმჟავაში და ხსნარს უმატებენ 95 მლ მეთანოლს და 10 მლ 28%-იან ამიაკს. გაფილტრულ ხსნარს აყოვნებენ რამდენიმე დღე მაცივარში. ქრომატოგრამის ჩაყურსვით ამ ხსნარში სულფჰიდრილური ჯგუფების შემცველი ნაერთები წითლად იფერება.

ბ) თავდაპირველად ქრომატოგრამას ასხურებენ ნატრიუმციანიდის 5%-იან ხსნარს 25%-იან ეთანოლში, რომელიც აგრეთვე 5% ნატრიუმკარბონატს შეიცავს, ხოლო რამდენიმე წუთის შემდეგ — ნიტროპრუსიდ-ნატრიუმის 2%-იან ხსნარს 75%-იან ეთანოლში. ეს მეთოდი განსაკუთრებით მოხერხებულია დისულფიდური ჯგუფების შემცველი ორგანული ნაერთების აღმოსაჩენად.

45. სპილენძის სულფატი. ქრომატოგრამას შეასხურებენ სპილენძის სულფატის 10%-იანი ხსნარით და ახურებენ მაშრობ კარადაში 120°-მდე 20 წუთს. ამ მეთოდით მეღავნდება გოგირდშემცველი გლუკოზიდები, მწვანე ფონზე ყავისფერი ლაქების სახით.

ვიტამინები

46. 2,2′ დიპირიდილ-რკინისქლორიდი. ქრომატოგრამას ასხურებენ 2-დიპირიდილის 0,25%-იანი ხსნარით ეთანოლში, ხოლო შემდეგ — რკინის ჟანგის ქლორიდის 0,1%-იანი ხსნარით ეთანოლში. ტოკოფეროლები წარმოქმნიან წითელ ლაქას თეთრ ფონზე, რომელიც თანდათანობით ვარდისფრად იფერება.

47. კალიუმის იოდბისმუთატი. კალიუმის იოდბისმუთატის 5 გ უმატებენ 100 მლ წყალს, 0,5 მლ კონცენტრირებულ ქლორწყალბადმჟავას და ადუღებენ. გაცივების შემდეგ ხსნარს

ფილტრავენ. ქრომატოგრამას რამდენჯერმე ასხურებენ ამ ხსნარით, შემდეგ ფონს ჩარეცხენ ეთერით, რომელიც გაჯერებულია წყლით. შეფერვა ლურჯი (ბეტაინი, აცეტილქოლინი), ნარინჯი (ტრიამინტრიფოსფატი) და წითელი (თიამინი).

48. დიქლორფენოლ-ინდოფენოლი. ქრომატოგრამას ასხურებენ 2,6 დიქლორფენოლის 0,1%-იანი ხსნარით ეთანოლში. ასკორბინის მჟავა მეღავნდება თეთრი ლაქის სახით.

49. იოდი-სახამებელი. ქრომატოგრამას ასხურებენ იოდის 0,001—0,005%-იანი ხსნარით (მცირე რაოდენობა კალიუმიოდიდის დმატებით) სახამებლის 4%-იან ხსნარში. ასკორბინის მჟავა წარმოქმნის თეთრ ლაქას ლურჯ ფონზე.

50. ფენილჰიდრაზინი. ქრომატოგრამას შეასხურებენ ხსნარით, რომელიც შედგება 0,3 გ ფენილჰიდრაზინის, 0,45 გ ნატრიუმის აცეტატისა და 10 მლ წყლისაგან. მეთოდი გამოიყენება დეჰიდროასკორბინის მჟავას განსასაზღვრავად.

ანტიბიოტიკები

51. დიაცეტილ — α — ნაფტოლი. ქრომატოგრამას ასხურებენ ხსნარით, რომელიც მიიღება დიაცეტილის 0,1%-იანი წყლიანი ხსნარის შერევით 20%-იან კალიუმის ჰიდროჟანგის წყლიან ხსნართან და α-ნაფტოლის 2,5%-იან ეთანოლიან ხსნართან (1 : 1 : 1). რამდენიმე წუთის შემდეგ გამომეღავნდება სტრეპტომიცინი წითელი ლაქის სახით. რეაქციის მგრძნობიარობა დაახლოებით 5 მკგ.

ქრომატოგრაფია სორბენტის თხელ ფენაზე

(თხელფენოვანი ქრომატოგრაფია)

თხელფენოვანი ქრომატოგრაფია არის ნივთიერებათა დაყოფა სორბენტის თხელ ფენაზე, რომელიც მინის ფირფიტაზეა მოთავსებული. ფირფიტის კიდესთან სორბენტის ფენაზე გარკვეულ წერტილში შეაქვთ საანალიზო ობიექტი, გამხსნელი მოძრაობს ფოროვან ნივთიერებაში და ახდენს ნივთიერებათა ნარევის ქრომატოგრაფიულ დაყოფას სორბენტის ფენაზე.

ქრომატოგრაფია სორბენტის თხელ ფენაზე მსგავსია ქაღალდზე ქრომატოგრაფიისა და მასთან შედარებით გააჩნია უპირატესობანი. ანალიზისათვის ბევრად უფრო მცირე დროა საჭირო, ვიდრე ქაღალდზე ქრომატოგრაფიისათვის; ამასთან მაღალდისპერსიული სორბენტების გამოყენებით იზრდება მეთოდის ანალიზური უნარი, საკმარისია მნიშვნელოვნად მცირე ზომის კამერები (დაახლოებით 20 სმ სიმაღლის); აღსანიშნავია აგრეთვე მგრძნობიარობის გაზრდა, რის შედეგადაც შესაძლებელია გამოვიკვლიოთ ნივთიერებანი, რომელთა რაოდენობა მიკროგრამის მეასედ ნაწილს არ აღემატება.

არსებობს ქრომატოგრაფიის სახეობათა თხელფენოვანი ვარიანტები: ადსორბციული, დაყოფითი, იონცვლითი, გელფილტრაციული და აგრეთვე მათი კომბინაციები. ამ მხრივ თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიის შესაძლებლობანი ბევრად მდიდარია, ვიდრე ქაღალდზე ქრომატოგრაფიისა, რომლის დროსაც ძირითადად ადგილი აქვს დაყოფით ქრომატოგრაფიულ პროცესს. თხელფენოვან ქრომატოგრაფიას ქაღალდზე ქრომატოგრაფიასთან შედარებით აქვს დინამიკური უპირატესობა, ამ შემთხვევაში ბევრად უმჯობესდება ლაქების კომპაქტურობა, რაც განპირობებულია გამხსნელის უძრავი ფაზის დიფუზიის უნარის შეკავებით; უძრავი ფაზა კავდება სორბენტის ფორებში.

ზემოაღნიშნულის შედეგად 3—10-ჯერ მცირდება გამხსნელის გასარბენი მანძილი და ამასთან დაკავშირებით ქრომატოგრაფიისათვის საჭირო დრო.

თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიის ძირითად პრინციპად ითვლება ელუაციური პროცესი; კომპონენტები დამოუკიდებლად მოძრაობენ სორბენტის ფენაზე ქრომატოგრაფიული ლაქების თანდათანობითი გადაადგილებით (თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიის თეორიისათვის იხილეთ ბ. ბელენსკი და ე. განკინა — 1966).

სორბენტები თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის

თხელ ფენაზე ქრომატოგრაფიისათვის გამოიყენება სორბენტთა დიდი ასორტიმენტი, რომლებიც იჩენენ ადსორბციის, იონცვლის ან დაყოფის უნარს.

სორბენტების ძირითად სახეობებს თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის წარმოადგენს: სილიკაგელი, ალუმინის ჟანგი, კიზელგური, ცელულოზის ფხვნილი და ცელულოზური იონმცვლელები. უფრო იშვიათად გამოიყენება იონიტები, პოლიამიდი, სეფადექსები, მაგნიუმის სილიკატი, კალციუმის სულფატი და სხვ.

აღნიშნული სორბენტები გამოიყენება როგორც სუფთა სახით, ისე სხვადასხვა დამატებით, რომელთა მიზანია: ფენის სიმტკიცის გაუმჯობესება, ადსორბციული თვისების შეცვლა (ბუფერული ხსნარებით), ფენის ფორიანობის გაუმჯობესება და სხვ.

სორბენტების შერჩევისას პრაქტიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს დასაყოფ ნივთიერებათა თვისებებს; თავდაპირველად სწავლობენ ქრომატოგრაფიულად დასაყოფ ნივთიერების ხსნადობას, ე. ი. ჰიდროფილურია თუ ჰიდროფობური, რის შემდეგ საზღვრავენ დამახასიათებელ თვისებებს — მჟავური, ფუძე თუ ნეიტრალურია ისინი, ან ხომ არ წარმოქმნიან ამფოტერულ იონს, დასასრულ საჭიროა გაისინჯოს, შეუძლია თუ არა ნივთიერებას ქიმიურად იმოქმედოს სორბენტთან (ან გამხსნელთან), ან ხომ არა ხდება ქიმიური ცვლილება ნივთიერებისა სორბენტის გავლენით.

ყველა ზემოაღნიშნულის საფუძველზე თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის შექმნილია სამი სორბენტი: სილიკაგელი, ალუმინის ჟანგი და კიზელგური.

ს ი ლ ი კ ა გ ე ლ ი Γ — წარმოქმნის მჟიდროდ მიკრულ მაღალაქტიურ სუსტ ფუძე ფენას, რომელიც პირველ რიგში გამოიყენება ძლიერი ჰიდროფილური, ნეიტრალური და მჟავე ნივთიერებებისათვის, ხოლო, თუ შევურჩევთ გამხსნელს, ასევე შეიძლება დავყოთ ფუძე ხასიათის ნივთიერებები და ჰიდროფობური შენაერთები.

ა ლ უ მ ი ნ ი ს ჟ ა ნ გ ი Γ — წარმოქმნის მჟიდროდ მიკრულ აქტიურ სუსტ ფუძე ფენას, რომელიც პირველ რიგში გამოიყენება ნეიტრალურ და ფუძე ხასიათის ნივთიერებათა დასაყოფად. ამ სორბენტის თვისება ასევე შეიძლება შევცვალოთ შესაბამისი გამხსნელის შერჩევით, შრობით და განსაზღვრულ ნივთიერებათა დამატებით, რის შედეგადაც ის შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა შენაერთების დასაყოფად.

კ ი ზ ე ლ გ უ რ ი Γ — წარმოქმნის მჟიდროდ მიკრულ პრაქტიკულად არააქტიურ ნეიტრალურ ფენას, რომელიც პირველ რიგში

გამოიყენება ძლიერ ჰიდროფილური შენაერთების მკვეთრი დაყოფისათვის, ასევე ამფოტერული იონების, ტრიგლიცერიდების, კეტომჟავების, ლაქტონებისა და ცხიმოვანი ოქსიმჟავების დასაყოფად. კ ა უ ფ მ ა ნ მ ა და მისმა თანამშრომლებმა დაამზადეს კიზელგური Г, რომელიც გაჟღენთილია მაღალ ტემპერატურაზე მდუღარე ნავთობის ფრაქციებით.

სილიკაგელი Г-ს და ალუმინის ჟანგის Г-ს აქტივობა პირველ რიგში დამოკიდებულია ნაწილაკების ზედაპირულ აქტივობაზე (ე. ი. მარცვლებზე და ფორების დიამეტრზე, რომლებიც წარმოიქმნება სილიკაგელის მომზადებისას), რაც უფრო წვრილია ნაწილაკები, მით უფრო აქტიურია ზედაპირი.

ცნობილია, რომ ზოგიერთი ნივთიერება მაღალაქტიურ სორბენტზე განიცდის ქიმიურ გარდაქმნას. ამიტომ A ვიტამინისათვის რეკომენდებულია სილიკაგელი Г, რომელიც გაჟღენთილია პარაფინის ზეთით, ან სილიკაგელი Г-ს და კალიუმის ფოსფატის (1 : 1) ნარევით.

არაორგანულ ნივთიერებათა თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის საჭიროა სილიკაგელი, რომელიც თავისუფალია რკინისაგან.

ორგანული სორბენტებიდან ცნობილია და ფართოდ გამოიყენება ცელულოზის ფხვნილი უთაბაშიროდ და თაბაშირით:

MN 300	ჩვეულებრივი ცელულოზა
MN 30 Ac . . .	აცეტილირებული ცელულოზა დაახლოებით 10%)
MN 300 CM . . .	კარბოქსილმეთილცელულოზა
MN 300 P . . .	ფოსფორილებული ცელულოზა
MN 300 DƏAƏ . .	დიეთილამინეთილ ცელულოზა
MN 300 ECTEOLA	ანიონური იონმცვლელი

თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის საჭირო ზოგიერთ სორბენტთა მოკლე დახასიათება იხილეთ 30-ე ცხრილში.

სორბენტები თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის

სორბენტის სახელწოდება	თვისებები			დასაყოფ ნივთიერებათა კლასები
	ქიმიური ბუნება	აქტიურობა	დამყოფი მექანიზმი	
სილიკაგელი	მჟავა	აქტიური	ადსორბცია, დაყოფა, იონცვლა	თითქმის ყველა
ალუმინის ჟანგი	ფუძე	აქტიური	ადსორბცია, დაყოფა, იონცვლა	ძირითადად ფუძეები და სტეროიდები
კიზელგური	ნეიტრალური	არააქტიური	დაყოფა	ნახშირწყლები, ტრიგლიცერიდები, ცხიმ. მჟავები
მაგნიუმის ტრისილიკატი	სუსტი ფუძე	სუსტად აქტიური	ადსორბცია	კაროტინოიდები
კალიუმის ჰიდროჟანგი	ფუძე	„	„	
კალციუმის ფოსფატი	სუსტი ფუძე	„	„	ტოკოფეროლები
სილიკაგელი და ალუმინის ჟანგი (1:1)	მჟავა + ფუძე	აქტიური	ადსორბცია, დაყოფა, იონცვლა	საღებავები და ბარბიტურატები
ცელულოზის ფხვნილი	ნეიტრალური	არააქტიური	დაყოფა, იონცვლა	საღებავები, ამინომჟავები
პოლიამიდი	ნეიტრალური	არააქტიური	იონცვლა	ფლავონები
პოლიაკრილნიტრილი	„	„	დაყოფა, იონცვლა	ანტოციანები და სხვა

აღნიშნულ და ზოგიერთ სხვა სორბენტებს ამზადებს სხვადასხვა უცხოური ფირმები. ლაბორატორიებში შეიძლება მათი მომზადება სპეციალური მეთოდიკის შესაბამისად.

გამხსნელთა სისტემები

თხელ ფენაზე ქრომატოგრაფიისათვის იყენებენ ერთფაზიან, ორფაზიან და აგრეთვე მრავალფაზიან გამხსნელებს. ამა თუ იმ ჯგუფის ნაერთთა ანალიზის დროს საჭიროა შერჩეულ იქნეს შესა-

ფერის გამხსნელთა სისტემა, რომლის დროსაც ძირითადი ყურადღება უნდა მიექცეს საანალიზო ნივთიერებათა მოლეკულის ელექტრონულ აგებულებას და გამხსნელთა არეში წარმოქმნილ იონთა ბუნებას. გამხსნელთა სისტემის და სორბენტის ბუნებიდან გამომდინარე, თხელ ფენაზე შეიძლება მიმდინარეობდეს ადსორბცია, იონცვლა, დელუიცია.

თხელ ფენაზე ქრომატოგრაფიის პრაქტიკაში მრავალი გამხსნელია გამოყენებული. ამ მიზნით ხმარობენ ეთილის სპირტს, ეთილის ეთერს, აცეტონს, ქლოროფორმს, ნახშირწყალბადებს, სპირტებს და სხვ. უფრო წარმატებით გამოიყენება გამხსნელთა სისტემები, რომელთა შემადგენლობა და გამოყენების სფერო მოტანილია 31-ე ცხრილში.

ცხრილი 31

გამხსნელთა სისტემები თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის

გამხსნელთა სისტემები	საანალიზოდ გამოყენების სფერო
ეთილის სპირტი — 70, წყალი — 30	ორგანულ მჟავათა, ორგანულ ფუძეთა ამინომჟავებისათვის და სხვა
ნ-პროპანოლი — 70, წყალი — 30	" "
ნ-ბუთანოლი — 80, ძმარმჟავა — 20, წყალი — 20	" "
ფენოლი — 75, წყალი — 25	" "
ნ-პროპანოლი — 70, ამიაკი — 30	" "
ეთილის სპირტი — 70, ამიაკი — 30	" "
ნ-ბუთანოლი — აცეტონი — დიეთილამინი — წყალი (10 : 10 : 5)	ცილების, ამინომჟავათა, ამინებისა და სხვა.
ქლოროფორმი — მეთანოლი — ამიაკი (2 : 2 : 1)	" "
ქლოროფორმი — მეთანოლი — ძმარმჟავა (95 : 5 : 1)	" "
ქლოროფორმი-ბენზოლის სპირტი-ძმარმჟავა (70 : 30 : 3)	" "
ბენზოლი-პირიდინი — ძმარმჟავა (80 : 20 : 2)	" "
ქლოროფორმი-მეთანოლი (90 : 10)	" "
ქლოროფორმი-ჭიანჭველმჟავა (100 : 5)	" "
ტოლუოლი-პირიდინი-ეთილენ-ქლორჰიდრინი — ამიაკი (100 : 30 : 60 : 60)	" "

საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს ის გარემოება, რომ გამხსნელთა სისტემები შენახვისას განიცდის „დაძველებას“, ზოგჯერ, შემადგენელ ნივთიერებათა ურთიერთქმედების შედეგად ადგილი აქვს ქიმიურ გარდაქმნებს, რის გამოც ისინი უნდა მომზადდნენ მოხმარების წინ და დროთა განმავლობაში შეიცვალონ.

ტექნიკა და აპარატურა

სორბენტის თხელ ფენაზე ქრომატოგრაფიისათვის გამოიყენება ორი სახის ფირფიტები დამაგრებული და არადამაგრებული ფენით. დამაგრებული ფენა კეთდება მინის ოთხკუთხ ფირფიტებზე (უმთავრესად ხმარობენ ძველ ფოტოფირფიტებს). მინის ფირფიტებს წინასწარ ასუფთავებენ იმგვარად, რომ არ დარჩეს ცხიმის ლაქები, რისთვისაც რეკომენდებულია ბოლოს მეთანოლ-წყლის (1 : 1) ნარევში გავლება და გაშრობა, რის შემდეგ ფირფიტაზე ამაგრებენ სორბენტის თხელ ფენას. ამისათვის წინასწარ მზადდება სორბენტისაგან სუსპენზია, რომლის გადატანა ფირფიტაზე ხორციელდება სხვადასხვა ხერხით; ამათგან უმარტივესია სუსპენზიის მიფრქვევა ან წასმა შეძლებისდაგვარად თანაბარი სისქის ფენით, რის შემდეგაც მათ აშრობენ შესაბამის ტემპერატურაზე.

აღსანიშნავია, რომ სუსპენზია უმჯობესია დამზადდეს ორგანულ გამხსნელზე, ვიდრე წყალზე, რათა არ შესუსტდეს ადსორბციის უნარი; მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე სორბენტის ფენის სისქეს და მის ერთგვაროვნებას.

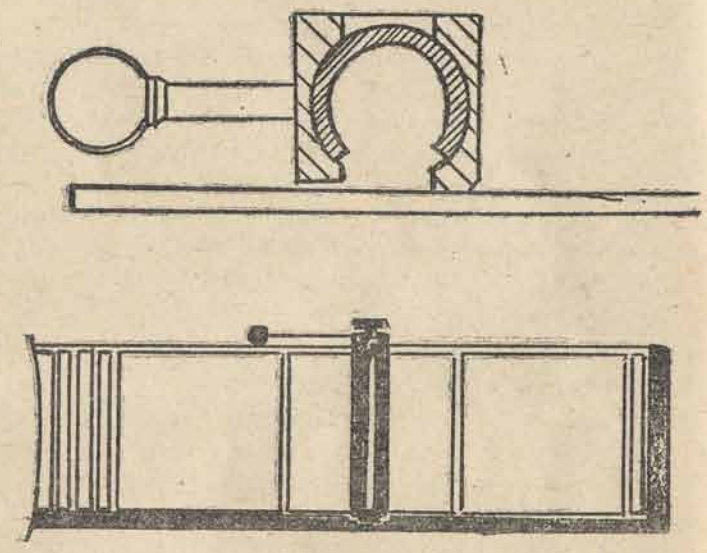
ცხრილი 32

სუსპენზიის მომზადება თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის (პეიფერით)

სორბენტი	სუსპენზიის არე	პროპორცია გ/მლ	შრობის ტემპერატურა
ხილაკაგელი	ქლოროფორმი—ან ქლოროფორმ-მეთანოლი (2:1)	35:100	ჰაერზე 20 წ. დაყოვნების შემდეგ 100°-ზე
ცელულოზის ფხვნილი	ქლოროფორმ-მეთანოლი (1:1)	50:100	100°-ზე
ალუმინის ჟანგი	ქლოროფორმ-მეთანოლი (7:3)	60:100	100°-ზე

სორბენტის მდგრადი ფენის მომზადებისათვის უმატებენ თაბაშირს ან პარიზის პლასტირს; ამ შემთხვევაში გაშრობამდე საჭიროა დაყოვნება ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე 10—20 წუთით. სუსპენზია მზადდება სპეციალურ სადღვებში ან ფაიფურის როდინში.

მინის ფირფიტაზე სორბენტის მასის შეტანის მექანიკური ხერხებიდან ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებულია შტალის მიერ მოწოდებული ხელსაწყო (სურ. 3) ქრომატოგრაფიისათვის.

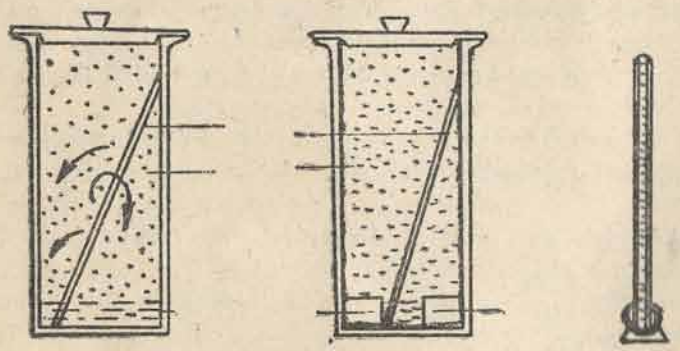


სურ. 3. შტალის აპლიკატორი

სადგამზე დებენ მინის ფირფიტების რიგს ერთიმეორის გასწვრივ; სპეციალურ აპლიკატორში, რომელიც წარმოადგენს კონტეინერს ერთმხრივი სარკმელით, ათავსებენ სუსპენზიას; აპლიკატორის მოძრაობის საშუალებით, ისე როგორც ეს სქემატურად გამოსახულია ნახაზზე, ფირფიტებზე თავსდება სორბენტის გარკვეული სისქის ფენა. ფენის სისქის რეგულაციის საშუალებას იძლევა ხელსაწყოს კონსტრუქცია. ხელსაწყო დამზადებულია თითბერისაგან

და დაფარულია ქრომით. მასში თავსდება 150 მლ სუსპენზია, რაც საკმარისია არანაკლებ 10 ფირფიტის დასაფარავად (20×20 სმ) 250 მკ. სისქის ფენით. სორბენტის გაშრობას ატარებენ მაშრობ კარადაში შესაფერის ტემპერატურულ პირობებში. სტარტის ხაზის აღნიშვნა და გამოსაკვლევი ობიექტების შეტანა სტარტზე, აგრეთვე Rf-ის სიდიდის გამოანგარიშება ისევე ტარდება, როგორც ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის დროს.

ქრომატოგრაფირება ტარდება ჰერმეტულად დახშულ სწორკუთხა კამერებში უმთავრესად აღმავალი გზით, ფირფიტა კამერაში დახრილად იდება, ისე როგორც ნაჩვენებია სურ. 4-ზე.



სურ. 4. აღმავალი ქრომატოგრაფია

ქრომატოგრამის გაშრობა და გამომჟღავნება ტარდება გამოსაკვლევი ნივთიერებისათვის მოწოდებული მეთოდიკის შესაბამისად (გამოსამჟღავნებელი რეაქტივები და მათი მომზადება იხილეთ ქვემოთ).

ექსპერიმენტული თანხვედრილი შედეგების მიღების უზრუნველსაყოფად ქრომატოგრაფია სორბენტის თხელ ფენაზე უნდა ტარდებოდეს სტანდარტულ პირობებში.

სტანდარტული პირობები გულისხმობს შემდეგი პუნქტების შესრულებას:

ს ო რ ბ ე ნ ტ ი ა ნ ი ფ ი რ ფ ი ტ ი ს ფ ო რ მ ა ტ ი: უმთავრესად 200×200 მმ; წინასწარი ცდებისათვის — 100×200 მმ და მიკროპრეპარატული დაყოფისათვის — 400×200 მმ.

ს ო რ ბ ე ნ ტ ი ს ფ ე ნ ი ს ს ი ს ქ ე (გაშრობამდე, ფენის გაკეთებისას): ანალიზური მიზნებისათვის 250 მიკ. მიკროპრეპარატული დაყოფისა და სპეციალური მიზნებისათვის—500—750 მიკ.

ფ ე ნ ი ს შ რ ო ბ ა: წინასწარი შრობა 10 წუთის განმავლობაში ვენტილატორით; შრობა ცხელი ჰაერით ვერტიკალურ მდგომარეობაში 100—110°-ზე 30 წუთით.

შ ე ნ ა ხ ვ ა: ლაბორატორიული გაზებისაგან დასაცავად საჭიროა შენახულ იქნეს ჰერმეტულ ყუთში ან ექსიკატორში სილიკაგელზე.

ს ტ ა რ ტ ი ს წ ე რ ტ ი ლ ი: 15 მმ ქვედა ნაპირიდან; ლაქების დაშორება ერთიმეორისაგან 10—15 მმ.

ლ ა ქ ი ს გ ა დ ა ა დ გ ი ლ ე ბ ი ს მ ა ნ ძ ი ლ ი: 100 მმ (სტარტი-ფრონტი).

ქ რ ო მ ა ტ ო გ რ ა ფ ი უ ლ ი კ ა მ ე რ ა: მინის ქილა მილესილი სახურავით; კამერა წინასწარ უნდა გაიჟღინთოს გამხსნელის ორთქლით.

ფ ი რ ფ ი ტ ი ს კ ი დ ი ს ჩ ა ყ უ რ ს ვ ა გ ა მ ხ ს ნ ე ლ შ ი: დაახლოებით 5 მმ.

ს ო რ ბ ე ნ ტ ე ბ ი: უნდა იყოს სტანდარტული, განსაზღვრული თვისებებით.

რეაქტივები თხელფენოვან ქრომატოგრამათა გამოსამჟღავნებლად

(მოყვანილია შტალის მიხედვით)

1. ა ლ ი ზ ა რ ი ნ ი — ლ ი თ ი უ მ ი ს, კ ა ლ ც ი უ მ ი ს, მ ა გ ნ ი უ მ ი ს, ა ლ უ მ ი ნ ი ს, თ ო რ ი უ მ ი ს, ც ი რ კ ო ნ ი უ მ ი ს, ა მ ო ნ ი უ მ ი ს დ ა ს ე ლ ე ნ ი ს ი ო ნ თ ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი I — ალიზარინის ნაჯერი ხსნარი სპირტში.

მისასხურებელი ხსნარი II — NaOH-ის 1 ნ ხსნარი.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას ასხურებენ I ხსნარით, აშრობენ ხანმოკლე დროით და ასხურებენ II ხსნარით, შემდეგ ქრომატოგრამას ათავსებენ ამონიაკით გაჟღენთილ კამერაში.

2. ა მ ო ნ ი უ მ ი ს ქ ლ ო რ ი დ ი ფ ლ ა ვ ო ნ ო ი დ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი — ალუმინის ქლორიდის 1% ხსნარი ეთანოლში.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას ასხურებენ და აშუქებენ მონოქრომატული ულტრაიისფერი სხივებით.

3. ა მ ო ნ ი უ მ ი ს მ ო ლ ი ბ დ ა ტ ი — ც ი ტ რ ა ტ უ ლ ი ბ უ ფ ე რ ი ა ს კ ო რ ბ ი ნ ი ს მ ჟ ა ვ ა ს ა თ ვ ი ს. ხსნარი I — ამონიუმის მოლიბდატის 15% ხსნარი 1% ამიაკში.

ხსნარი II — PH —3,8. შეურევენ 0,1 ნ HCl-ის 48,1 მლ და 0,1 მ ნატრიუმის ციტრატის (21,0 ნ ლიმონმჟავა+200 მლ 1 ნ NaOH ლიტრში) 51,9 მლ.

მისასხურებელი ხსნარი: I ხსნარის 15 მლ და II ხსნარის 10 მლ ნარევს უმატებენ 15 წვეთ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას (რეაქტივი მდგრადია არაუმეტეს ორი დღისა).

4. ა ნ ი ლ ი ნ ი — ფ ო ს ფ ო რ მ ჟ ა ვ ა ა ღ დ გ ე ნ ი ლ ი შ ა ქ რ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: 1. მოცულობა ანილინის 2 ნ ხსნარს წყლით გაჯერებულ ბუთანოლში შეურევენ 2 მოცულობა ორთოფოსფორმჟავას 2 ნ ხსნარს ბუთანოლში.

ქრომატოგრამას ახურებენ 10 წუთით 105°-ზე.

5. ა ნ ი ლ ი ნ ფ ტ ა ლ ა ტ ი ა ღ დ გ ე ნ ი ლ ი შ ა ქ რ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: 0,93 გ ანილინს და 1,66 გ ორთოფტალის მჟავას ხსნიან წყლით გაჯერებული ბუთანოლის 100 მლ-ში. მისხურების შემდეგ ქრომატოგრამას ახურებენ 10 წუთით 105°ზე.

6. ს ტ ი ბ ი უ მ ი ს (III) ქ ლ ო რ ი დ ი ს ტ ე რ ო ი დ უ ლ ი გ ლ უ კ ო ზ ი დ ე ბ ი ს ა დ ა A ვ ი ტ ა მ ი ნ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: 25 გ სამქლორსტიბიუმს ხსნიან 75 გ ქლოროფორმში, რომელიც არ შეიცავს ეთანოლს (ეთანოლის დასაცილებლად ქლოროფორმს ატარებენ გააქტივებული ალუმინის ჟანგის სვეტში).

შესხურების შემდეგ ქრომატოგრამას ახურებენ 10 წუთით 100°-ზე (დაკვირვება ულტრაიისფერ შუქზე).

7. ს ტ ი ბ ი უ მ ი ს (III) ქ ლ ო რ ი დ ი — ყ ი ნ უ ლ ო ვ ა ნ ი ძ მ ა რ მ ჟ ა ვ ა ს ტ ე რ ო ი დ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: სტიბიუმის ქლორიდს ხსნიან ყინულოვან ძმარმჟავაში (1 : 1 წონით). ქრომატოგრამას ახურებენ 93°-ზე 5 წუთით.

8. სტიბიუმის (V) ქლორიდი ტერპენების, ზეთებისა და ფისებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 2 მოცულობა სტიბიუმის (V) ქლორიდს შეურევენ 8 მოცულობა ოთხქლორნახშირბადთან.

მისხურების შემდეგ ფირფიტას ახურებენ 120°-ზე ლაქების გამომჟღავნებამდე.

9. ბენზიდინი ტერპენალდეჰიდების, ფლავონოიდებისა და ნახშირწყლებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: ბენზიდინის 0,5 გ ხსნიან 20 მლ ყინულოვან ძმარმჟავაში და 80 მლ ეთანოლში.

მისხურების შემდეგ ქრომატოგრამას ახურებენ 100°-ზე 15 წუთით (ვანილინი ღებულობს მოყვითალო-ნარინჯისფერს).

10. ფოსფორმოლიბდენ მჟავა კალას (II) ქლორიდი ქოლინისა და ქოლინშემცველი ნივთიერებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი I. ფოსფორმოლიბდენ მჟავას 1 გ ხსნიან ეთანოლისა და ქლოროფორმის თანაბარ მოცულობათა ნარევის 100 მლ-ში.

მისასხურებელი ხსნარი II: 1 გ კალას (II) ქლორიდს ხსნიან 3 ნ ქლორიდმჟავას 100 მლ-ში (ხსნარ მზადდება ხმარების წინ).

გამომჟღავნება: ასხურებენ I ხსნარს, აშრობენ 3 წუთით, ასხურებენ II ხსნარს და კვლავ აშრობენ 10 წუთით.

II. ქინიდინი—სპილენძის სულფატი ბარბიტურის მჟავასა და თიობარბიტურის მჟავასათვის. მისასხურებელი ხსნარი: სპილენძის სულფატის 200 მგ, პირიდინის 20 მლ და 20 მგ ქინიდინს ხსნიან 100 მლ წყალში. გამშრალ ქრომატოგრამას აყოვნებენ ქლორწყალბადის არეში (ულტრაიისფერ შუქზე ჩანს მუქი ლაქა).

12. ქლორამინი კოფეინისათვის. მისასხურებელი ხსნარი I — ქლორამინის 10% ხსნარი წყალში.

მისასხურებელი ხსნარი II—1 ნ ქლორწყალბადმჟავა.

გამომჟღავნება: ასხურებენ ჯერ I ხსნარით და ხანმოკლე გაშრობის შემდეგ — II ხსნარით. ახურებენ 96—98° ქლორის სუნის მოცილებამდე. ქრომატოგრამას ათავსებენ ამიაკით გაჟღენთილ კამერაში 5 წუთით, შემდეგ გადაიტანენ მაშრობ კარადაში და ახურებენ ვარდისფერ-წითელი ლაქის წარმოქმნამდე.

13. ქლორამინ-სამქლორძმარმჟავა სათითურას გლიკოზიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: ქლორამინის ახლადმომზადებული 3% ხსნარის 10 მლ შეურევენ სამქლორძმარმჟავას 25% ეთანოლიანი ხსნარის 40 მლ (სამქლორძმარმჟავას ხსნარი მდგრადია მხოლოდ რამდენიმე დღე).

გამოჟღავნება: მისხურების შემდეგ ახურებენ 110°-ზე 7 წუთის განმავლობაში მაშრობ კარადაში. მონოქრომატულ ულტრაიისფერ შუქზე ცისფერი ლუმინესცენცია, A-ჯგუფის გლიკოზიდები ყვითელ ლაქებს წარმოქმნიან.

14. დიაზორეაქტივი სულფანილამიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი I : 1 გ ნატრიუმის ნიტრიტს ხსნიან 100 მლ 1 ნ ქლორწყალბადმჟავაში.

მისასხურებელი ხსნარი II: ბეტანაფტოლის 0,2% ხსნარი 1 ნ NaOH-ში.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას ასხურებენ ახლად მომზადებულ I ხსნარს, 1 წუთის შემდეგ ასხურებენ II ხსნარს და აშრობენ 60°-ზე (წითელი შეფერადება დამახასიათებელია არომატული ამინებისათვის).

15. 2,6 — დიბრომქინონქლორამიდი პირიდოქსინისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 2,6 დიბრომქინონქლორამიდის 0,4% ხსნარი მეთანოლში.

16. 2′, 7′ — დიქლორფლუორესცეინი როგორც ფლუორესციული ინდიკატორი ნაჯერი და უჯერი ლიპიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: — 2′, 7′— დიქლორფლუორესცენციის 0,2% ხსნარი ეთანოლში.

17. 2,6 დიქლორფენოლინდოფენოლ ნატრიუმი ორგანული მჟავებისათვის, მისასხურებელი ხსნარი: 2,6 დიქლორფენოლინდოფენოლ ნატრიუმის 1% ხსნარი ეთანოლში. წითელი ლაქა ცისფერ ფონზე სწრაფად უფერულდება.

18. 4 — დიმეთილამინო ბენზალდეჰიდი— ქლორწყალბადმჟავა ინდოლის ნაერთთათვის. მისასხურებელი ხსნარი:. 4 — დიმეთილამინობენზალდეჰიდის 1 გ ხსნიან კონცენტრირებული ქლორწყალბადმჟავას (1,19) 50 მლ-ში და შეურევენ 50 მლ ეთანოლთან.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას კამერიდან ამოღებისთანავე

ინტენსიურად ასხურებენ, სანამ გამჭვირვალე არ გახდება (ამისათვის საჭიროა დაახლოებით 10 მლ ერთი ფირფიტისათვის 20×20 სმ). ბოლოს ქრომატოგრამას ამუშავებენ კონცენტრირებული ქლორწყალბადმჟავისა და კონცენტრირებული აზოტმჟავას ნარევის (3 : 1) ორთქლით.

19. 4—დიმეთილამინობენზალდეჰიდი—ქლორწყალბადმჟავა ჭვავის რქის ალკალოიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: —4 — დიმეთილამინობენზალდეჰიდის 0,5 გ ხსნიან 100 მლ ცხელ ციკლოჰექსანში.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამაზე ასხურებენ რეაქტივს და ათავსებენ ქლორწყლბადმჟავით გაჟღენთილ კამერაში (ცისფერი შეფერადება).

20. დიპიკრილამინი ქოლინისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: დიპიკრილამინის 0,2 გ ხსნიან 50 მლ აცეტონისა და 50 მლ ბიდისტილატის ნარევში. ქოლინი და მისი წარმოებულნი რეაქტივთან წარმოქმნიან წითელ ლაქას ყვითელ ფონზე.

21. დითიზონი ტყვიისა და სხვა მძიმე მეტალთა იონებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი I — დითიზონის 0.05%-იანი ხსნარი ოთხქლორნახშირბადში.

მისასხურებელი ხსნარი II — ამიაკის 25% ხსნარი.

22. დრაგენდორფის რეაქტივი ბრეგოფ-დელვიჩით მეოთხადი ამინური ფუძეებისათვის (ქოლინი) გამოსავალი ხსნარი. ბისმუთის ნიტრატის 8 გ ხსნიან 20—25 მლ 25% აზოტმჟავაში. ხსნარს ნელი მორევით უმატებენ 20 გ კალიუმის იოდიდის, 1 მლ 6 ნ ქლორწყალბადმჟავისა და 5 მლ წყლის ნარევს. მუქ ნალექს უმატებენ წყალს, ვიდრე ხსნარი მონარინჯისფრო-წითლად არ შეფერადდება. ხსნარის მოცულობა უნდა იყოს 95 მლ, უხსნადი ნალექის გამოყოფისას მას დააცილებენ ხსნარიდან გაფილტვრით და მოცულობა წყლით აჰყავთ 100 მლ-მდე. მაცივარში ფერად ჭურჭელში შენახული ხსნარი ვარგისია რამდენიმე კვირა.

მისასხურებელი ხსნარი: 20 მლ წყალი, 5 მლ 6 ნ ქლორწყალბადმჟავა, 2 მლ გამოსავალი ხსნარი და 6 მლ ნ მწვავე ნატრი. შენჯღრევისას თუ დარჩება გაუხსნელი ბისმუთის ნიტრატის ნაწილი, მაშინ უმატებენ რამდენიმე წვეთ 6 ნ ქლორწყალბადმჟავას.

მისასხურებელი ხსნარი ინახება მაცივარში დაახლოებით 10 დღე.

23. დრაგენდორფის რეაქტივი ალკალოიდებისათვის. გამოსავალი ხსნარი: 2,6 გ ბისმუთის კარბონატს და 7,0 ნატრიუმ-იოდიდს უმატებენ 25 მლ ყინულოვან ძმარმჟავას და ადუღებენ რამდენიმე წუთი. დაახლოებით 12 საათის შემდეგ გამოყოფილ ნალექს ფილტრავენ (ნუტჩის ფილტრზე). 20 მლ წითელ-მოყავისფრო ფილტრატს შეურევენ 8 მლ ძმარმჟავა ეთილის ეთერს და ინახავენ ბნელ შუშაში.

მისასხურებელი ხსნარი: გამოსავალი ხსნარის 10 მლ შეურევენ ყინულოვანი ძმარმჟავას 25 მლ და 60 მლ ძმარმჟავაეთილის ეთერს. ალკალოიდებთან იძლევა ნარინჯისფერ მოწითალო ლაქებს.

24 რკინის (III) ქლორიდი ფენოლებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: რკინის (III) ქლორიდის 1% წყლიანი ხსნარი ფენოლთან და ფენოლებთან ქრომატოგრამაზე იძლევა ლურჯი ფერის ლაქას.

25. ძმარმჟავას ანჰიდრიდი — გოგირდმჟავა ტრიტერპენოვანი გლიკოზიდებისა და ქოლესტერინისათვის (ლიბერმან-ბურქარდის რეაქტივი). მისასხურებელი ხსნარი: ფრთხილად გაცივებით შეურევენ 5 მლ ძმარმჟავას ანჰიდრიდსა და 5 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას. გაცივებულ მდგომარეობაში ნარევს თანდათანობით შეავსებენ 50-მლ-მდე აბსოლუტური სპირტით. ხსნარი მზადდება ხმარების წინ.

მისხურების შემდეგ ფირფიტას ახურებენ 110°-ზე 10 წუთით. დაკვირვება ტარდება მონოქრომატულ ულტრაიისფერ შუქზე.

26. გლუკოზა-ფოსფორმჟავა არომატული ამინებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: გლუკოზის 2 გ ხსნიან 10 მლ კონც. ორთოფოსფორმჟავასა (1,7) და 40 მლ წყლის ნარევში. ხსნარს უმატებენ 30 მლ ეთანოლს და 30 მლ ნ — ბუთანოლს.

გამომჟღავნებისათვის რეაქტივით შესხურებულ ქრომატოგრამას ახურებენ 115°-ზე 10 წუთით.

27. 8-ოქსიქინოლინი ბარიუმის, სტრონციუმის და კალციუმის იონებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 8 — ოქსიქინოლინის 0,5 გ ხსნიან 60 მლ ეთანოლისა და 40 მლ

წყლის ნარევში. რეაქტივის შემდეგ ქრომატოგრამას ათავსებენ ამიაკიან კამერაში ან ასხურებენ 25% ამიაკის ხსნარით. დაკვირვება ტარდება მონოქრომატულ ულტრაიისფერ შუქზე.

28. ი ო დ ი ს ხ ს ნ ა რ ი ო რ გ ა ნ უ ლ ნ ა ე რ თ ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: იოდის 0,5 გ ხსნიან 100 მლ ქლოროფორმში. ინახება ფერად ჭურჭელში ბნელ ადგილზე.

29. რ ო დ ა მ ი ნ ი B კ ა ლ ი უ მ ი ს ი ო ნ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი I — 0,1 ნ მწვავე ნატრი.

მისასხურებელი ხსნარი II — 1% სპირტიანი ხსნარი კალიუმზე რეაქტივისა.

მისასხურებელი ხსნარი III — როდამინ B 0,5% სპირტიანი ხსნარი.

გამომჟღავნება: მიასხურებენ I რეაქტივს, აშრობენ, ასხურებენ II რეაქტივს და ბოლოს — III რეაქტივს. ულტრაიისფერ შუქზე ნათლად ჩანს მუქი ლურჯი ფლუორესცენცია. დიდი რაოდენობა კალიუმისა კი ხილვად არეშიც ჩანს ღია წითელი ლაქის სახით მუქ წითელ ფონზე.

30. მ წ ვ ა ვ ე კ ა ლ ი უ მ ი კ უ მ ა რ ი ნ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: მწვავე კალიუმის 1% ხსნარი ეთანოლში.

გამომჟღავნება: ასხურებენ რეაქტივს, აშრობენ და აკვირდებიან კვარცის ანალიზური ნათურით.

31. კ ო ბ ა ლ ტ ნ ი ტ რ ა ტ ი-ა მ ი ა კ ი ბ ა რ ბ ი ტ უ რ ი ს მ ჟ ა ვ ა ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი — კობალტნიტრატის 1% ხსნარი ეთანოლში.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას ასხურებენ რეაქტივს, აშრობენ და ათავსებენ ამიაკიან კამერაში.

32. α-ნ ა ფ თ ო ქ ი ნ ო ნ — 4 — ს უ ლ ფ ო ნ ა ტ რ ი უ მ ი ა მ ი ნ ო მ ჟ ა ვ ა თ ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი. β-ნაფთოქინონ — 4 — სულფონატნატრიუმის 0,2 გ ხსნიან ნატრიუმკარბონატის 5% ხსნარის 10 მლ-ში. ხსნარი მზადდება ხმარების წინ 5—10 წუთით ადრე.

33. ფ ლ უ ო რ ე ს ც ე ი ნ-ნ ა ტ რ ი უ მ ი ა რ ო მ ა ტ უ ლ ი დ ა ჰ ე ტ ე რ ო ც ი კ ლ უ რ ი ნ ა ე რ თ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: ფლუორესცეინ ნატრიუმის 50 მგ ხსნიან 50% მეთანოლის 100 მლ-ში.

გამომჟღავნება ხდება ულტრაიისფერ შუქზე, სადაც შეიძლება დავინახოთ სხვადასხვა ნივთიერებათა ურთიერთგანსხვავებული ფლუორესცენცია.

34. ნ ა ტ რ ი უ მ ი ს ჰ ი დ რ ო ჟ ა ნ გ ი Δ_4 — 3-კ ე ტ ო ს ტ ე რ ო ი დ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი — ნატრიუმის ჰიდროჟანგის 10% ხსნარი.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას ასხურებენ რეაქტივით და აშრობენ 80°-ზე 10 წუთით. დელტა Δ_4 — 3-კეტოსტეროიდები განიცდიან ყვითელ ფლუორესცენციას ულტრაიისფერ მონოქრომატულ შუქზე.

35. ნ ა ტ რ ი უ მ ი ს რ ო დ ი ზ ო ნ ა ტ ი ბ ა რ ი უ მ ი ს ა დ ა ს ტ რ ო ნ ც ი უ მ ი ს ი ო ნ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი I — როდიზონატნატრიუმის 1% ხსნარი.

მისასხურებელი ხსნარი II — ამიაკის 25% ხსნარი.

ასხურებენ თანმიმდევრობით.

36. ქ ლ ო რ მ ჟ ა ვ ა ს ტ ე რ ო ი დ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: ქლორმჟავას 2% ხსნარი. ქრომატოგრამას რეაქტივის მისხურების შემდეგ ახურებენ 150°-ზე 10 წუთით. მიიღება ყავისფერი ლაქა.

37. წ ყ ა ლ ბ ა დ ზ ე ჟ ა ნ გ ი — რ კ ი ნ ი ს (III) ქ ლ ო რ ი დ ი კ უ მ ა რ ი ნ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი I — პერჰიდროლის 0,5% ხსნარი ახლად მომზადებული.

მისასხურებელი ხსნარი II — რკინის (III) ქლორიდის 0,2% ხსნარი.

გამომჟღავნება: ჯერ ასხურებენ I ხსნარით, აშრობენ 105°-ზე, შემდეგ — II ხსნარით, შემდეგ აშრობენ ისევ მაშრობ კარადაში. იმავე 105° ტემპერატურაზე ლაქის წარმოქმნამდე.

38. ო-ფ ე ნ ი ლ ე ნ დ ი ა მ ი ნ ი-ს ა მ ქ ლ ო რ ძ მ ა რ მ ჟ ა ვ ა. α-კ ე ტ ო მ ჟ ა ვ ა თ ა თ ვ ი ს. მისასხურებელი ხსნარი: 50 მგ ო-ფენილენდიამინს ხსნიან 100 მლ სამქლორძმარმჟავას 10% წყლიან ხსნარში.

გამომჟღავნება: მისხურების შემდეგ ქრომატოგრამას ახურებენ 100°-ზე 2 წუთით, რის შემდეგაც აკვირდებიან ულტრაიისფერ შუქზე ფლუორესცენციის უნარის მქონე ლაქებს (ანალიზური კვარცის ნათურით).

39. ფოსფოროვოლფრამმჟავა ლიპიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: ფოსფოროვოლფრამმჟავას 20% ხსნარი ეთანოლში. ქრომატოგრამას შესხურების შემდეგ აცხელებენ 70°-ზე 20 წუთის განმავლობაში.

40. ფოსფორმჟავა სტეროიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 1 მოცულობა კონცენტრირებულ ორთოფოსფორმჟავას (1,7) აზავებენ 1 მოცულობა წყლით.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას ასხურებენ, ვიდრე შესველებით იგი გამჭვირვალე არ გახდება, შემდეგ აცხელებენ 120°-ზე 10°—20 წუთით და ფლუორესცენტული თვისების ლაქებს აკვირდებიან კვარცის ნათურით. არამაძღარი სტეროიდები და სტერინები მჟღავნდება ცისფერი ლაქების სახით ხილვად სინათლეზე.

41. როდანინი (დიმეთილამინობენზილიდინ როდანინი) კათიონებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: როდანინის1—5% ხსნარი ეთანოლში. რეაქტივით შესხურების შემდეგ ასხურებენ ამიაკის 25% ხსნარით. დაკვირვება ტარდება ულტრაიისფერ მონოქრომატულ შუქზე.

42. გოგირდმჟავა ალკალოიდებისა და ამინებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 100 მლ აბსოლუტურ ეთანოლს უმატებენ 50 წვეთ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას (1,84). ალკალოიდები და ამინები წყლის დაკარგვის შემდეგ წარმოქმნიან ნაერთებს, რომელთაც ულტრაიისფერ შუქზე ფლუორესცენციის უნარი აქვთ.

43. პარა-ტოლუოლსულფომჟავა სტეროიდებისა და ფლავონოიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 20 გ ტოლუოლსულფომჟავას ხსნიან 100 მლ აბსოლუტურ ეთანოლში.

გამომჟღავნება. რეაქტივის შესხურების შემდეგ რამდენიმე წუთით ახურებენ 100°-ზე და ქრომატოგრამას აკვირდებიან მონოქრომატულ ულტრაიისფერ შუქზე.

44. სამფტორძმარმჟავა სტეროიდებისა და ვლიკოზიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: სამფტორძმარმჟავა 1% ხსნარი ქლოროფორმში.

გამომჟღავნება: ქრომატოგრამას რეაქტივის მისხურების შემდეგ ახურებენ მაშრობ კარადაში 120°-ზე 5 წუთით.

45. ვანილინი-ქლორწყალბადმჟავა კატექინებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 0,5 გ ვანილინს ხსნიან 50 მლ კონცენტრირებულ ქლორწყალბადმჟავაში (1,19).

ოთახის ტემპერატურაზე გამშრალ ქრომატოგრამაზე კატექინი მჟღავნდება წითლად.

46. ვანილინი—ფოსფორმჟავა სტეროიდებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 1 გ ვანილინს ხსნიან 100 მლ 50%-იან ორთოფოსფორმჟავაში.

რეაქტივის მისხურების შემდეგ აცხელებენ 120°-ზე 10—20 წუთით.

47. ვანილინი-გოგირდმჟავა უმაღლესი სპირტებისა და კეტონებისათვის. მისასხურებელი ხსნარი: 3 გ ვანილინს ხსნიან 100 მლ აბსოლუტურ სპირტში და ხსნარს უმატებენ 0,5 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას.

ქრომატოგრაფია სორბენტთა სვეტებზე

სორბენტის სვეტში ქრომატოგრაფია, ანუ ქრომატოგრაფია კოლონკებში ყველა თავისი ფორმით დიდ გამოყენებას პოულობს ბუნებრივ ნაერთთა დაყოფისა და სუფთა პრეპარატული სახით მიღების ტექნოლოგიურ პროცესებში.

ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა (სორბენტთა) ფიზიკურ-ქიმიური თავისებურებანი განაპირობებენ მათ ზედაპირზე ან იონგენურ რადიკალებთან გამოსაკვლევ ნივთიერებათა ურთიერთობას. სორბენტების, გამოსაკვლევ ნივთიერებათა და მაელუირებელ ხსნართა თვისებების გათვალისწინებით შესაძლებელი ხდება ბუნებრივ ნაერთთა რთული ნარევების დაყოფა შემადგენელ ინდივიდუალურ ნივთიერებებად.

ქრომატოგრაფიული დაყოფისათვის ობიექტი შეაქვთ სორბენტის სვეტის ზედა ნაწილში, შემდეგ სვეტში ატარებენ გამხსნელს ან მაელუირებელ ხსნარს, რითაც აღწევენ ცალკეული კომპონენტების ფრაქციონირებას. ცნობილია, რომ ადსორბცია და იონცვლა შექცევადი პროცესებია და ამ პროცესების წარმართვა დამოკიდებულია გარემო ფაქტორებზე, რომელშიც იგი მიმდინარეობს. სორბციის ან იონცვლის სასურველი მიმართულებით წარმართვას აღწე-

ვენ მაელუირებელი ხსნარების ან სუფთა გამხსნელების გამოყენებით (სათანადო pH-ის და იონური ძალის ბუფერული ხსნარებით).

არსებობს კალონკური ქრომატოგრაფიის სამი ძირითადი ტიპი: 1) ადსორბციული, 2) განმანაწილებელი და 3) იონცვლითი.

ადსორბციული ქრომატოგრაფია ემყარება ნივთიერებათა შერჩევითი სორბციის უნარს ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა ნაწილაკებზე. სხვადასხვა ნივთიერება სვეტში მაელუირებელი ხსნარის გარკვეული მიმართულებით მოძრაობის დროს სხვადასხვა სიჩქარით გადაადგილდება და ელუატთა ფრაქციული შეგროვების პირობებში აღმოჩნდება სხვადასხვა ულუფებში, საიდანაც შესაძლებელი ხდება მათი დაკრისტალება სუფთა სახით. ელუატთა ფრაქციებში ნივთიერების სისუფთავეს იკვლევენ ქაღალდზე ქრომატოგრაფიული და აგრეთვე სპექტროფოტომეტრიული მეთოდებით.

ადსორბენტებად უმთავრესად გამოიენებულია ალუმინის ჟანგი ქრომატოგრაფიისათვის წინასწარ გახურებული 200—300°-ზე, სილიკაგელი, შაქარი, კალციუმის კარბონატი და სხვ. წყლიანი ხსნარებიდან ადსორბციისათვის იყენებენ წინასწარ დამუშავებულ ბენტონიტურ თიხებს.

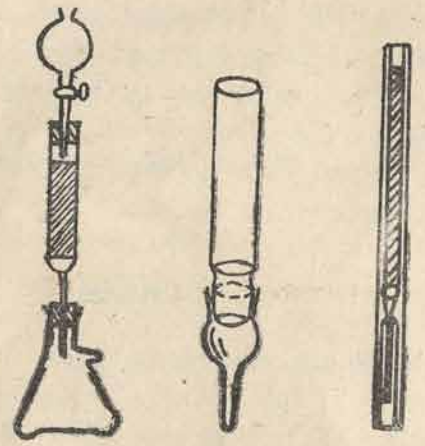
გამხსნელებად ადსორბციული ქრომატოგრაფიისათვის ყველაზე კარგია ნახშირწყალბადები, მაგალითად, ბენზინი, პეტროლეუმის ეთერი, ბენზოლი. ელუაციისათვის იყენებენ სპირტების წყალნარევს, პირიდინის 1—2% წყალხსნარს და სხვ. აპარატურა ადსორბციული ქრომატოგრაფიისათვის ძლიერ მარტივია და ადვილად შეიძლება აიწყოს ნებისმიერ ლაბორატორიაში.

საადსორბციო მილში შეაქვთ სორბენტი მშრალი და სველი სახით იმგვარად, რომ ფენაში არ დარჩეს ცარიელი ადგილი და გამხსნელის ან ხსნარის გატარების დროს ჰაერის ბუშტუკები. ამიტომ უმჯობესია ადსორბენტი წინასწარ შეერიოს გამხსნელთან და თხელი ფაფის სახით ჩაისხას საადსორბციო კალონკაში. ბუნზენის კოლბიდან, რომელზეც შეერთებულია კალონკა (სურ. 5), ფრთხილად ქაჩავენ ჰაერს წყლის ნაკადიანი ტუმბოს საშუალებით; სორბენტის ფენა ყოველთვის დაფარული უნდა იყოს სითხით.

ადსორბციული ქრომატოგრაფიის მეთოდი მოწოდებულია სამკურნალო პრეპარატების და წამლის ფორმების თვისობრივ და რაოდენობრივ შედგენილობის დასადგენად და აგრეთვე მათში მინა-

რევების აღმოსაჩენად (ს. ბურკატი — 1950, გ. კოლიაკოვა — 1951, მერცი და ფრანცი — 1937, შემიაკინი და თანამშრომლები — 1953 და სხვ.).

ჩვენს მიერ 1949 წელს ალუმინის ჟანგის კალონკაზე დაყოფილ იქნა ღვალოს და რევანდის ფესვებიდან მიღებული ანტრაქინონის ნაერთების ჯამი და გამოყოფილ იქნა ინდივიდუალური ნივთიერებანი.



სურ. 5. ადსორბციული ქრომატოგრაფიის აპარატურა

განმანაწილებელი ქრომატოგრაფიის მეთოდი მოგვაწოდა მარტინმა და სინგმა (1941). ეს მეთოდი ემყარება ნივთიერებათა განაწილებას ორ ურთიერთარაშერევად გამხსნელს (შედარებით პოლარულ სტაციონარულ ფაზას—უმთავრესად წყალს, და ნაკლებპოლარულ მოძრავ ფაზას) შორის. სორბენტად იხმარება სილიკაგელი, სახამებელი, ცელულოზა და სხვა, მოძრავ ფაზად — ორგანული გამხსნელები.

საანალიზო ნარევს ხსნიან მოძრავ ფაზაში, ატარებენ ქრომატოგრაფიულ კალონკაში და ჩარეცხავენ სუფთა მოძრავი გამხსნელით.

კომპონენტების გადაადგილების სიჩქარე განისაზღვრება არა ადსორბციის კოეფიციენტით, არამედ განაწილების კოეფიციენტით მოძრავ და უძრავ ფაზებს შორის, ე. ი. ქრომატოგრაფიული კალონკის ჩარეცხვის დროს ნივთიერებათა ზონები მით უფრო ნელა გადაადგილდება, რაც უფრო დიდია ამ ნივთიერების გადაადგილების კოეფიციენტი მოძრავ და უძრავ გამხსნელთა შორის.

განმანაწილებელი ქრომატოგრაფიული მეთოდის ერთ-ერთ სახესხვაობას წარმოადგენს ფილტრაცია გელში, რომელიც განსხვავებულ მექანიზმებს ემყარება და ქვემოთ იქნება აღწერილი. ახლა კი განვიხილოთ იონმცვლელ პოლიმერებზე ქრომატოგრაფიული მეთოდი.

იონცვლითი ქრომატოგრაფია

იონცვლით ქრომატოგრაფიას გამოყენებითი თვალსაზრისით რამდენიმე მიმართულება აქვს. ძირითადი მექანიზმი, რომელზეც ემყარება მეთოდები, არის იონმცვლელი პოლიმერისა (იონიტისა) და ელექტროლიტის მოლეკულას შორის იონცვლა ან მოლეკულური სორბცია.

სორბენტებად იონცვლით ქრომატოგრაფიაში იყენებენ სინთეზურ იონმცვლელ პოლიმერებს, ანუ ე. წ. იონმცვლელ ფისებს.

იონმცვლელი ფისები (იონიტები) პირველად 50 წლის წინათ იქნა სინთეზირებული. იონმცვლელ ფისებს იყენებენ მრავალ დარგში: წყლის დარბილება და დემინერალიზაცია, იშვიათ ლითონთა გამოყოფა, იზოტოპების დაყოფა და რადიაქტიური დაშლის პროდუქტების დაჭერა, არაორგანულ და ორგანულ ნივთიერებათა

გასუფთავება, ორგანულ ნაერთთა სინთეზი, კვების მრეწველობა, ფარმაცევტული მრეწველობა და სხვ.

თანამედროვე ტექნოლოგიურ დანადგარებში იონცვლა წარმატებით ცვლის ისეთ პროცესებს, როგორიცაა გამოხდა, ადსორბცია და ფილტრაცია. სამეცნიერო გამოკვლევები იონიტური მემბრანებისა და ცელულოზური სორბენტების სფეროში დაკავშირებულია ბიოქიმიისა და ბიოფიზიკის პრობლემებთან. ამ მეთოდების გამოყენებით სუფთა სახით გამოყოფილია მრავალი ცილა, შაქარი, აგრეთვე ფერმენტები, ანტიბიოტიკები, ჰორმონები, ალკალოიდები, ვიტამინები და სხვ.

იონმცვლელი ფისები, ანუ იონმცვლელი პოლიმერები პოლიმერიზაციით ან პოლიკონდენსაციით მიღებული მაღალმოლეკულური ნაერთებია, რომლებიც გიგანტური მოლეკულებისაგან შედგება.

კლასიკური ელექტროლიტებისაგან განსხვავებით, იონმცვლელი ფისები წყალში, ელექტროლიტთა ხსნარსა და ორგანულ გამხსნელებში პრაქტიკულად უხსნადი ნივთიერებებია, რომელთაც უნარი აქვთ გაცვალონ თავიანთი მოძრავი იონები იონიტთან კონტაქტში მყოფი ხსნარის მსგავსი მუხტის მატარებელ სხვა იონებზე. მიუხედავად იმისა, რომ იონმცვლელი ფისები წყალში უხსნადია, მათ აქვთ ელექტროლიზური დისოციაციის უნარი და შეადგენენ ელექტროლიტთა განსაკუთრებულ კლასს.

იონმცვლელ ფისებს აქვთ თვისება ხსნარიდან შთანთქან ერთი სახის იონები და სამაგიეროდ იგივე რაოდენობით გასცენ მათ შემადგენლობაში მყოფი მსგავსი მუხტის იონები. ამრიგად, ადგილი აქვს იონთა გაცვლას იონიტსა და მასთან კონტაქტში მყოფ იონთა შორის. აქედან წარმოიშვა სახელწოდება იონმცვლელი ფისები, ანუ იონმცვლელი პოლიმერები.

იონიტის იონცვლითი უნარი გაპირობებულია მაღალმოლეკულური ნაერთის მოლეკულაში არსებული იონოგენური აქტიური

ცნობები სამამულო წარმოების და შესაბამისი უცხოური მარკის იონიტთა შესახებ

№ რიგ.	სამამულო წარმოების იონიტები: მარკის დასახელება	ძირითადი ნედლეული სინთეზისათვის	მიღების მეთოდი	აქტიური ჯგუფები	მარცვლის ზომა მმ	გამომშვები ქარხნის დასახელება	უცხოური იონიტები: მარკის დასახელება	ძირითადი ნედლეული სინთეზისათვის	მიღების მეთოდი	აქტიური ჯგუფები	მარცვლის ზომა მმ	მწარმოებელი სახელმწიფოს დასახელება
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
					კათიო		ნიტები					
1	კბ—4	მეტაკრილმჟავა, დივინილბენზოლი	პოლიმერიზაცია	კარბოქსილი	0,25—2,0	ქარხანა „კარბოლიტი“ ქ. კემეროვო	პერმუტიტი „C“	აკრილმჟავა დივინილბენზოლი რეზორცალმჟავა	პოლიმერიზაცია	კარბოქსილი	0,3—0,5	გერმანია
2	კბ 4 პ-2	მეთილ-მეტაკრილმჟავა, დივინილბენზოლი	„	„	„	„	ვოფატიტი „C“					გერმანია
3	კუ—2	სტიროლი, დივინილბენზოლი. ქლორსულფომჟავა	„	სულფო	„	„	ამბერლაიტი IRC—50	„	„	„	0,5—2,0	ა შ შ
4	კუ—1	პარასულფოფენოლმჟავა, ფორმალდეჰიდი	კონდენსაცია	სულფო და ჰიდროქსილი	„	პლასტმასის ქარხანა ქ. ნიჟ. ტაგილ	კატექსი-ROA	რეზორცინი, მონოქლორძმარმჟავა	„	„	—	ჩეხოსლოვაკია
5	კუ—5	პოლინაფტალინ სულფომჟავა ფორმალდეჰიდი	„	სულფო	0,3—2,0	„	ამბერლაიტი IR—120	სტიროლი. დივინილბენზოლი	„	სულფო	0,4—0,6	ა შ შ
							დაუეკსი—50	„	„	„	0,3—0,6	ა შ შ
6	კფუ	ფენოლი, მონოქლორძმარმჟავა, ფორმალდეჰიდი	„	კარბოქსილი და ჰიდროქსილი	0,2—1,0	კარპოვის სახ. ქარხანა ქ. მოსკოვი	ამბერლაიტი IR—100	ფენოლი, ფორმალდეჰიდი	კონდენსაცია	სულფო და ჰიდროქსილი	—	ა შ შ
							დაუეკსი—30	„ „	„	„	0,3—2,5	ა შ შ
7	სბს	სტიროლ ბუტადიენ, კაუჩუკ სულფომჟავა	პოლიმერიზაცია	სულფო	0,3—1,5	„	ვოფატიტი P	„ „	„	„	„	გერმანია
							ვოფატიტი —KS	„ „	„	„	0,3—1 5	„ „
8	სგ—1	მეტაკრილმჟავა	„	კარბოქსილი	0,8—2,0	„	კატექსი—ROA	რეზორცინი, მონოქლორძმარმჟავა	პოლიმერიზაცია	კარბოქსილი	—	ჩეხოსლოვაკია
							—	—	—	—	—	—
							—	—	—	—	—	—
9	სდვ	სტიროლი, დივინილბენზოლი	„	სულფო	0,35—1,5	„	დაუეკსი —50	სტიროლი, დივინილბენზოლი	პოლიმერიზაცია	სულფო	0,3—0,6	ა შ შ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	ავ—17	სტიროლი, დივინილ-ბენზოლი, ტრიმეთილ-ამინქლორმეთილეთერი	პოლიმერიზაცია	მეოთხადი ამონური ფუძე	0,3—2,0	ქარხანა „აარ-ბოლიტი" ქ. კემეროვო	ამბერლაიტი IRA—400	სტიროლი, დივინილბენზოლი	პოლიმერიზაცია	მეოთხადი ამინური ფუძე	—	ა შ შ
11	ან—2ფ	მეთილფენოლი, პოლიეთილენპოლიამინი, ფორმალდეჰიდი	კონდენსაცია	მეორადი და მესამადი ამინი	„	„	დაუეკსი—1	„	„		—	ა შ შ
12	ან—9	ფენოლი, ფორმალდეჰიდი	—	„	„	„	ამბერლაიტი —IRA—4B	პოლიეთილენ-პოლიამინი, ფენოლი, ფორმალდეჰიდი	კონდენსაცია	მეორადი და მესამადი ამინი	0,4—2,5	ა შ შ
13	ან—1	მელამინი, ფორმალდეჰიდი	—	„	„	პლასტმასის ქარხანა ქ. ნიჟ. ტაგილი	ვოფატიტი M	„	„	„	0.3—2,5	გერმანია
14	ან—18	სტიროლი, დივინილ-ბენზოლი	პოლიმერიზაცია	მესამადი ამინი	„	„	—	—	—	—	—	—
15	ედე—10 პ	პოლიეთილენპოლიამინი, ეპიქლორჰიდრინი	კონდენსაცია	მეორადი და მესამადი ამინი და მეოთხადი ამინური ფუძე	0,25—1,7	გამოყენებითი ქიმიის ინსტიტუტის ქარხანა ქ. ლენინგრადი	ვოფატიტი	ფენოლი ფორმალდეჰიდი	„	„	—	გერმანია
							ნალციტი—WBR	სტიროლი, დივინილბენზოლი	პოლიმერაზაცია	მესამადი ამინი	0.4—0.6	ა შ შ
							დაუეკსი—3	„	„	„	„	ა შ შ
							ვოფატიტი—L—165	პოლიეთილენ პოლიამინი, ეპიქლორჰიდრინი	კონდენსაცია	მესამადი ამინანი და მეოთხადი ამინური ფუძე	—	გერმანია

ცნობები ზოგიერთ კათიონიტთა შესახებ

მარკის დასახელება	ძირითადი ნედლეული სინთეზისათვის	მიღების მეთოდი	აქტიური ჯგუფები	მარცვლის ზომა მმ	სად იქნა სინთეზირებული
კბ—1	მეტაკრილმჟავა, დივინილბენზოლი	პოლიმერიზაცია	კარბოქსილი	0,3—1,5	პსკი*
კბ—2	„	„	„	„	„
კბ—5	რეზორცინი, მონოქლორძმარმჟავა, ფორმალდეჰიდი	კონდენსაცია	კარბოქსილი და ჰიდროქს.	0,25—1,5	„
კმ	მეტაკრილმჟავა	პოლიმერ.	კარბოქსილი	„	მჭტი**
კმგ	მეტაკრილი და აკრილმჟავა დიოლეფინი	„	„	„	„
კმტ	მეტაკრილ მჟავა	„	„	0,25—0,8	„
კნ	აკრილონიტრილი, დივინილბენზოლი	„	„	„	„
კრ	მეტაკრილმჟავა	„	„	„	„
კს	მალეინის ანჰიდრიდი	„	„	„	პსკი
კუ—3	ეინილნაფტალინი, დივინილბენზოლი	„	სულფომჟავა	0,3—1,5	„
კუ—4	აკენაფტალინი, დივინილბენზოლი	„	„	0,3—2,5	„
კუ—6	აკენაფტენი, ფორმალდეჰიდი	კონდენსაცია	სულფომჟავა და კარბოქს.	„	„
კფ—1	სტიროლი, დივინილბენზოლი	პოლიმერიზაცია	ფოსფორმჟავა	0,3—2,0	„
კფ—2	„	„	„	„	„
კფ ფუ	ფენოლი, რეზორცინი, მონოქლორძმარმჟავა	კონდენსაცია	კარბოქსილი ჰიდროქსილი	0,25—1,5	მნი***
სბსფ	ფ ე ნ ო ლ ე ბ ი	პოლიმერიზაცია	სულფომჟავა	—	მჭტი

* პსკი — პლასტმასის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტატუტი.
** მჭტი — მოსკოვის ქიმიურ-ტექნოლოგიური ინსტიტუტი.
*** მნი — მაღალმოლეკულური ნაერთების ინსტიტუტი.

ცნობები ზოგიერთ ანიონიტის შესახებ

მარკის დასახელება	ძირითადი ნედლეული სინთეზისათვის	მიღების მეთოდი	აქტიური ჯგუფები	მარცვლის ზომა	სად იქნა სინთეზირებული
ავ—15	სტიროლი, დივინილბენზოლი, ტრიმეთილამინი	პოლიმერიზაცია	მეოთხადი ამინური ფუძე	0,3—1,0	პსკი
ავ—16	პოლიეთილენპოლიამინი, პირიდინი, ეპიქლორჰიდრინი	კონდენსაცია	პირველადი, მეორადი, მესამადი ამინი და მეოთხადი ამინური ფუძე	„	„
ავ—18	სტიროლი, დივინილბენზოლი, პირიდინი	პოლიმერიზაცია	მეოთხადი ამინური ფუძე	„	„
ავ—20	ვინილპირიდინი, დივინილბენზოლი	„	„	„	„
ავ—27	სტიროლი, დივინილბენზოლი, დიმეთილამინი, ოქსიეთილენი	„	„	0,3—1,0	„
ან—4 კ	პოლივინილქლორიდი ამონიაკი	„	პირველადი, მეორადი და მესამადი ამინი	0,3—2,0	„
ან—7 კ	პოლივინილქლორიდი პოლიეთილენპოლიამინი	„	„	„	„
ან—10	ალილამინები	„	„	„	„
ან—15	სტიროლი, დივინილბენზოლი	„	პირველადი ამინი	„	„
ან—23	ვინილპირიდინი, დივინილბენზოლი	„	პირიდინი	„	„
ან—25	მეთილვინილპირიდინი დივინილბენზოლი	„	„	0,3—2,0	
ომგ—1	შარდოვანა, გუანიდინი, ფორმალდეჰიდი, მელამინი	კონდენსაცია	პირველადი, მეორადი და მესამადი ამინი	0,3—2,0	მჭტი
ნ—ო	„	„	მეორადი და მესამადი ამინი	0,2—2,5	„
პეკ	პოლიეთილენ პოლიამინი, ეპილქლორჰიდრინი	„	პირველადი, მეორადი, მესამადი ამინი და მეოთხადი ამინური ფუძ	0,3—1,5	გქსი*

* გქსი — გამოყენებითი ქიმიის სახელმწიფო ინსტიტუტი.

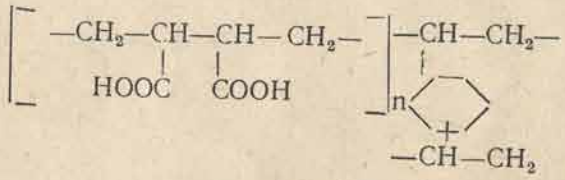
ჯგუფებით. ამიტომ ელექტროქიმიური თვალსაზრისით იონიტი წარმოადგენს დადებითი ან უარყოფითი ნიშნის უხსნად პოლივალენტურ იონებს, საწინააღმდეგო ნიშნის მოძრავი იონებით.

იონიტებს, რომელთა შემადგენლობაში არის უარყოფითი მუხტის მქონე იონოგენური ჯგუფები, უწოდებენ კათიონიტებს, ხოლო დადებითი მუხტის მატარებელი იონოგენური ჯგუფების შემცველ იონიტებს — ანიონიტებს.

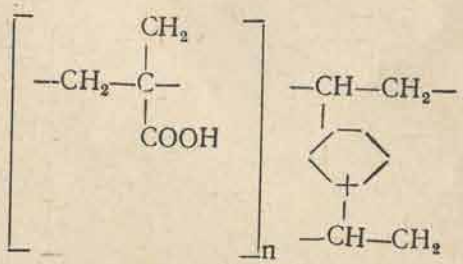
იონიტები მიიღება სინთეზურად — პლიმერიზაციის ან პოლიკონდენსაციის გზით და ქიმიური თვისებებით ორ ჯგუფად იყოფა: კათიონიტები და ანიონიტები.

კათიონიტის მოლეკულის შემადგენლობაში დიდი რაოდენობით შედის პოლივალენტური ანიონები, რის გამოც მჟავურ თვისებებს ამჟღავნებს და უნარი აქვს ელექტროლიტის ხსნართან ურთიერთობის პირობებში კათიონთა გაცვლისა.

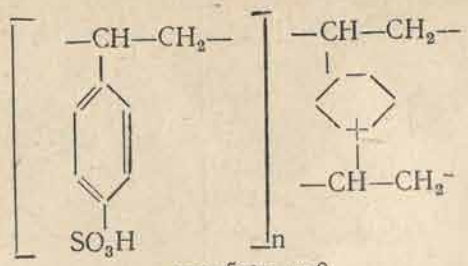
ანიონიტი მოლეკულის შემადგენლობაში შეიცავს აქტიურ ამინოჯგუფებს, რის გამო ფუძე ხასიათისაა და უნარი აქვს ელექტროლიტის ხსნართან ურთიერთობის პირობებში ანიონთა გაცვლის (იხ. კათიონიტთა და ანიონიტთა ელემენტური ბირთვების აგებულების ფორმულები).



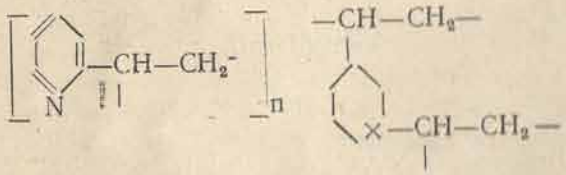
კათიონიტი კბ-2



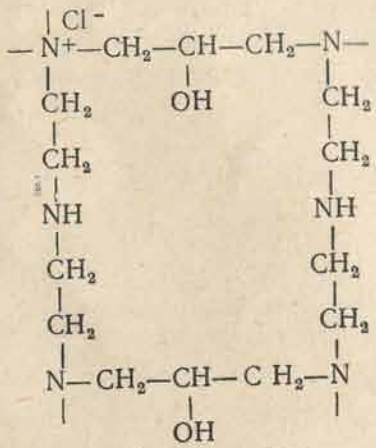
კათიონიტი კბ-4



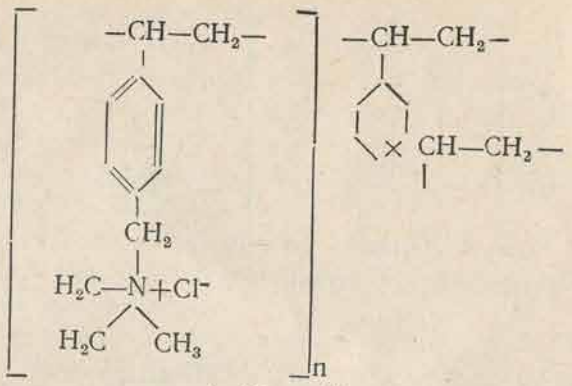
კათიონიტი კუ-2



ანიონიტი ან-23



ანიონიტი ედე-10 3



ანიონიტი ავ-17

ქიმიური აგებულებისა და დისოციაციის ხარისხის მიხედვით იონიტები იყოფა ოთხ ჯგუფად:

1. კათიონიტები ძლიერმჟავური, შეიცავენ აქტიურ სულფო-ჯგუფს და ფოსფორმჟავა ჯგუფს. მაგალითად: კუ, სბს, სდვ, მსფ, სბსრ, რფ და სხვ.

2. კათიონიტები სუსტმჟავური, ძირითადად შეიცავენ აქტიურ კარბოქსილს. მაგალითად: კბ, კმ, კმტ, კრ, კფ, კნ, კს და სხვ.

3. ანიონიტები ძლიერფუძე მოლეკულაში შეიცავენ აქტიურ ჯგუფს, — მეოთხად ამინურ ფუძეს ან პირიდინს. ასეთებია: ავ, პეკ და სხვ.

4. ანიონიტები სუსტფუძე, შეიცავენ მეორად მესამად ამინებს, ასეთებია: ან, მმგ, ნო და სხვ.

კათიონიტები, რომელთა ყველა მოძრავი იონი წყალბადს წარმოადგენს, აღინიშნება როგორც H კათიონიტი, ან H ფორმა; თუ წყალბადის იონები ჩანაცვლებულია კათიონებით (Na, K და სხვ.), მაშინ იყენებენ შესაფერის აღნიშვნებს — ნატრიუმ ან კალიუმ კათიონიტი ან ტერმინი „მარილოვანი ფორმა". მსგავსად ამისა, ანიონიტებს, რომლებიც გაჯერებულია შესაფერისი ანიონებით, უწოდებენ OH — ანიონიტს, Cl — ანიონიტს და ა. შ.

იონიტის გაცვლითი უნარიანობა, ანუ გაცვლითი ტევადობა წარმოადგენს მის ერთ-ერთ ძირითად დამახასიათებელ თვისებას.

იონთა მიმართ იონიტს გააჩნია გარკვეული ტევადობა, რასაც გამოხატავენ ადსორბირებულ იონთა მგ/ეკვივალენტით 1 გ ან 100 გ იონიტზე, ან კიდევ ადსორბირებულ იონთა მგ/ეკვივალენტით 100 მლ გაჯირჯვებულ იონიტზე.

იონიტებსა და ელექტროლიტთა ხსნარებს შორის მიმდინარე იონცვლა გაპირობებულია ძირითადად ელექტროსტატიკური ძალებით. ამასთან, არ არის გამორიცხული იონიტის სტრუქტურის და ხსნართა თვისებების მნიშვნელოვანი გავლენა პროცესზე.

იონიტს იონცვლის უნარს ანიჭებს პოლიმერის მაღალმოლეკულურ ჩონჩხზე აქტიური ჯგუფების არსებობა, რაც განაპირობებს მათ ელექტროდადებით ან ელექტროუარყოფით მუხტს და იონიტს აძლევს მჟავა ან ფუძე თვისებას. იონიტის სტრუქტურაში არსებული აქტიური ჯგუფები იონურ კავშირში არიან საწინააღმდეგო ნიშნის მოძრავ იონებთან, რომელთაც ელექტროლიტთა ხსნართან იონცვლის უნარი აქვთ.

აქტიური ჯგუფები ჰიდროფილური ხასიათისანი არიან. მშრალი იონიტი წყალთან კონტაქტის პირობებში იჯირჯვება. ამასთან, აქტიური ჯგუფები იწყებენ დისოციაციას მოძრავ და ნაცლებად მოძრავ იონებად, რომელთა შორის იონური კავშირი სუსტდება.

გაჯირჯვებული იონიტის ელექტროლიტთა ხსნართან კონტაქტის დროს მიმდინარეობს აქტიურ ჯგუფთა შემდგომი იონიზაცია და იონცვლის პროცესი, რომელიც შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვიდგინოთ:

კათიონური გაცვლა

$$RSO_3^-H^+ + Na^+ + Cl^- \rightleftarrows RSO_3^-Na^+ + H^+ + Cl^-$$

$$RCOO^-H^+ + Na^+ + OH^- \rightleftarrows RCOO^-Na^+ + H_2O$$

$$2RSO_3^-Na^+ + Ca^{2+} + 2Cl^- \rightleftarrows (RSO_3)_2^-Ca^{2+} + 2Na^+ + 2Cl^-$$

ანიონური გაცვლა

$$RNH_3^+ + OH^- + H^+ + Cl^- \rightleftarrows RNH_3^+Cl^- + H_2O$$

$$RNH_3^+Cl^- + Na^+ + OH^- \rightleftarrows RNH_3^+ + OH^- + Na^+ + Cl^-,$$

სადაც $RSO_3^-H^+$ კათიონიტია, $RNH_3^+OH^-$ — ანიონიტი.

როგორც ტოლობებიდან ჩანს, იონცვლის პროცესი შექცევადია, რადგან იონური კავშირი გვაქვს ნაკლებ მოძრავ და მოძრავ იონებს შორის.

ამგვარი პროცესები მიეკუთვნება ჰეტეროგენულ ქიმიურ პროცესთა კატეგორიებს, რადგან ისინი მიმდინარეობენ მყარსა და თხევად ფაზებს შორის.

აქტიურ ჯგუფთა იონიზაციის ხარისხი უმთავრესად დამოკიდებულია მათ ქიმიურ ბუნებაზე და გარემო ხსნარის თვისებებზე.

კათიონიტები, რომლებიც სულფოჯგუფებს შეიცავენ, კარგად იონიზდებიან ნეიტრალურ, მჟავა ან ფუძე რეაქციების ელექტროლიტთა ხსნარებში; კარბოქსილური კათიონიტები მჟავა არეში სუსტად იონიზდებიან. მსგავს თვისებებს ამჟღავნებენ ანიონიტებიც. სუსტფუძე ანიონიტები იონიზაციას ძირითადად განიცდიან ელექტროლიტთა ხსნარებში, რომელთა pH 7-ზე ნაკლებია, მაშინ როცა ძლიერფუძე ანიონიტები იონიზდებიან სუსტმჟავა, ნეიტრალურ და ტუტე არეშიც კი.

ხსნარის რეაქციაზე (pH) დამოკიდებულია არა მარტო აქტიურ ჯგუფთა მოძრავი იონების იონიზაცია, რომლებიც განლაგებული არიან მყარი და თხევადი ფაზების საზღვარზე, აგრეთვე იმ იონებისაც, რომლებიც დაკავშირებული არიან აქტიურ ჯგუფებთან იონიტის მთელ მოცულობაში.

იონიტისა და ელექტროლიტის ხსნარს შორის იონცვლის პროცესზე მრავალი ფაქტორი ახდენს გავლენას. მათგან მთავარია: იონიტისა და მასთან კონტაქტში მყოფი იონების თვისებები, ხსნარის კონცენტრაცია და არე (pH), სადაც პროცესი მიმდინარეობს (კ. სალდაძე). ყველა ეს ფაქტორი ურთიერთშორის მჭიდრო კავშირშია და განსაზღვრავს მიმდინარე იონგაცვლითი რეაქციების სიჩქარეს.

იონიტებსა და ელექტროლიტთა ხსნარებს შორის იონების გაცვლა გაპირობებულია იონების დიფუზიით. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ იონიტსა და ხსნარს შორის იონგაცვლა მიმდინარეობს ეკვივალენტურად. მაშასადამე, იონიტიდან ხსნარში გადადის იმდენი იონი, რამდენიც შთაინთქმება ხსნარიდან. ამ თვისებაზეა დამყარებული რაოდენობით ანალიზში იონიტების გამოყენება.

იონიტის დამახასიათებელ უმნიშვნელოვანეს კონსტანტას წარმოადგენს იონცვლის იზოთერმა. ერთვალენტოვან იონთა გაცვლისას იონცვლის იზოთერმის განსაზღვრისათვის მიღებულია შემდეგი ტოლობა:

$$\frac{S_1}{S_2} = K \cdot \frac{C_1}{C_2},$$

სადაც S_1 და S_2—1 გ სორბენტზე ადსორბირებული იონთა მგ/ეკვ. რაოდენობაა;

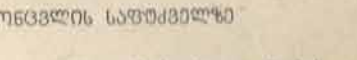
C_1 და C_2 ხსნარში იონთა წონასწორული კონცენტრაციები;

K — იონცვლის კონსტანტა.

სხვადასხვა იონიტებზე ერთი და იგივე წყვილი იონისათვის იონცვლის კონსტანტა რაოდენობრივად ახასიათებს იონიტის გაცვლის უნარს. სხვადასხვა წყვილი იონისათვის გაცვლის კონსტანტის სიდიდე ახასიათებს იონთა შერჩევით შთანთქმას მოცემულ იონიტზე.

რაოდენობრივი ანალიზი იონცვლის საფუძველზე

სამკურნალოდ გამოყენებული რიგი მარილების რაოდენობრივი განსაზღვრა მოქმედი ფარმაკოპეით ტარდება იონცვლითი ქრომატოგრაფიული მეთოდით. კალონკაში იონიტსა და ელექტროლიტს შორის მიმდინარე იონცვლითი რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ნივთიერება ისაზღვრება ტიტრიანი ხსნარით, ტოლობის თანახმად:



$$[R]H + NaBr \rightleftarrows [R]Na + HBr,$$

სადაც [R]H კათიონიტია.

გამოყოფილ HBr-ს ტუტის ტიტრიანი ხსნარით ვსაზღვრავთ, რომელიც თავის მხრივ ნატრიუმბრომიდის ეკვივალენტურია.

ანალიზი შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება:

1. იონიტის წინასწარი მომზადება;
2. კალონკის მომზადება;
3. იონიტის სვეტში საანალიზო ხსნარის გატარება;
4. იონიტის რეგენერაცია.

ი ო ნ ი ტ ი ს წ ი ნ ა ს წ ა რ ი მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა. იონიტის 5—10 გ ათავსებენ ქიმიურ ჭიქაში და რეცხავენ 2—3-ჯერ გამოხდილი

წყლით მექანიკური ნაწილაკების მოსაცილებლად. თუ იონიტი შეიცავს რკინას, მას რეცხავენ 4%-იანი ქლორწყალბადმჟავას ხსნარით, რისთვისაც იონიტს ათავსებენ გამყოფ ძაბრში და რამდენიმეჯერ რეცხავენ ქლორწყალბადმჟავას ხსნარით რკინის იონების მოცილებამდე (სინჯი ამონიუმის როდანიდთან).

კ ა თ ი ო ნ ი ტ ი ს მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა. ზემოთ აღწერილი მეთოდით წინასწარ დამუშავებულ კათიონიტს, რომელიც მოთავსებულია გამყოფ ძაბრში, ასხამენ 4—5%-იან ქლორწყალბადმჟავას ხსნარს და ტოვებენ გაჯირჯვებისათვის 3—4 საათით ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე.

ა ნ ი ო ნ ი ტ ი ს მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა. მექანიკური მინარევებისა და რკინისაგან განთავისუფლებულ ანიონიტს ათავსებენ გამყოფ ძაბრში, ასხამენ ნატრიუმის ჰიდროჟანგის ან კარბონატის 4—5%-იან ხსნარს და ტოვებენ 3—4 საათით, რის შემდეგ რეცხავენ ნატრიუმის ჰიდროჟანგის ზემოაღნიშნული კონცენტრაციის ხსნარით ქლორიონზე უარყოფით რეაქციამდე. როგორც კათიონიტს, ასევე ანიონიტს ზემოაღნიშნული მეთოდით დამუშავების შემდეგ რეცხავენ გამოხდილი წყლით 4—5-ჯერ, რის შემდეგაც გადააქვთ კალონკაში და რეცხავენ ნეიტრალურ რეაქციამდე. კათიონიტის გარეცხვას ამოწმებენ ინდიკატორი მეთილორანჟით, ხოლო ანიონიტისას — ფენოლფტალეინით.

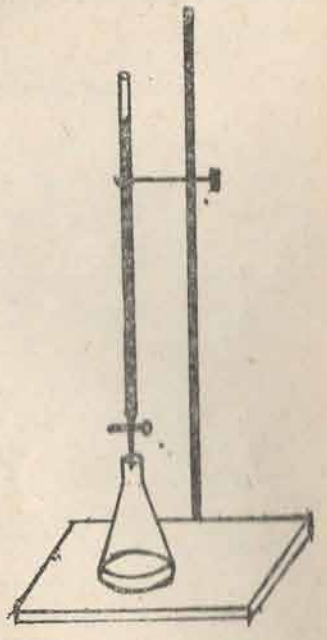
კ ა ლ ო ნ კ ი ს მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა. ქრომატოგრაფიული კალონკა წარმოადგენს მინის მილს, მისი ქვედა ნაწილი შევიწროვებულია, რომელზეც უკეთდება კაუჩუკის მილი და მომჭერი (სურ. 6).

კალონკად უმთავრესად იყენებენ ბიურეტს, რომელსაც ონკანის ზემოთ უკეთებენ მინის ბამბის ფილტრს. ქრომატოგრაფიულ კალონკას საჭირით ამაგრებენ შტატივზე ვერტიკალურ მდგომარეობაში; ონკანს დაკეტენ და ნახევრამდე ავსებენ გამოხდილი წყლით. შემდეგ მომზადებული იონიტი გადააქვთ კალონკაში და ფრთხილად აღებენ ონკანს. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, რომ იონიტის ფენაში არ დარჩეს ჰაერის ბუშტუკები. დარჩენილი ბუშტუკები შეიძლება მოვაცილოთ კალონკაში წყლის ნაკადის გატარებით ქვევიდან ზემოთ.

როდესაც კალონკაში იონიტის სვეტის სიმაღლე 8—10 სმ მიაღწევს, ონკანს კეტავენ და იონიტის ფენის ზემოთ ადებენ ბამბის

პატარა ტამპონს. იონიტის ფენა ყოველთვის დაფარული უნდა იყოს არანაკლები 1 სმ სითხის ფენით.

ა ნ ა ლ ი ზ ი ს ჩ ა ტ ა რ ე ბ ა. ანალიზის დაწყებამდე საჭიროა შემოწმდეს კალონკიდან გამომავალი წყლის რეაქცია, რომელიც ნეიტრალური უნდა იყოს. წინააღმდეგ შემთხვევაში რეცხავენ გამოხდილი წყლით. შემდეგ იღებენ გამოსაკვლევი ხსნარის განსაზღვრულ მოცულობას (მეთოდის შესაბამისად), გადაიტანენ ქრომატოგრაფიულ კალონკაში და ხსნიან ონკანს იმგვარად, რომ წუთში გამოდიოდეს 20—25 წვეთი. გამოსულ სითხეს აგროვებენ, როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, ჩარეცხავენ წყლით ნეიტრალურ რეაქციამდე რომ დაცული იქნეს აღნიშნული სიჩქარე გატარებისა, ჩანარეცხ წყალს იმავე კოლბაში აგროვებენ. იონიტის ფენაში არ უნდა მოხვდეს ჰაერის ბუშტუკები. ფილტრატს ტიტრავენ ტუტის ან მჟავას ხსნარით სათანადო ინდიკატორის თანაობით.



სურ 6. ქრომატოგრაფიული კალონკა

ი ო ნ ი ტ ი ს რ ე გ ი ს ტ რ ა ც ი ა. კათიონიტის კალონკაში ატარებენ ქლორწყალბადმჟავას 3%-იან ხსნარს, ხოლო ანიონიტის კალონკაში — ნატრიუმის ჰიდროჟანგის 4—5%-იან ხსნარს, სანამ კალონკიდან გამოსული სითხე უარყოფით რეაქციას არ მოგვცემს ადსორბირებულ იონზე. შემდეგ კალონკას რეცხავენ გამოხდილი წყლით ნეიტრალურ რეაქციამდე. ზემოაღწერილი ზომის კალონკაში შეიძლება ჩატარდეს 10—12 განსაზღვრა აღდგენის გარეშე, ხოლო იონიტი მრავალჯერ შეიძლება იქნეს რეგენერებული.

სამკურნალო პრეპარატების რაოდენობრივი განსაზღვრის იონცვლითი ქრომატოგრაფიული მეთოდები მოწოდებულ იქნა გ. ვაისმანის და მისი თანამშრომლების (1948), ბ. სენოვისა და მისი თანამშრომლების (1955), თ. შემიაკინის და სხვების მიერ.

ჩვენ მიერ მოწოდებულ იქნა რიგი სინთეზური პრეპარატების რაოდენობითი განსაზღვრის მეთოდები კათიონგაცვლის რეაქციების საფუძველზე.

ქრომატოგრაფია იონმცვლელ ცელულოზებზე

კალონკური ქრომატოგრაფიის ერთ-ერთ ნივთიერებათა პრეპარატიული გამოყოფისათვის მეტად ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს ქრომატოგრაფია ცელულოზურ იონმცვლელებზე. იონმცვლელი ნივთიერებანი ცელულოზის საფუძველზე წარმოადგენენ ნატურალური ცელულოზური პოლიმერების წარმოებულს, ჩანაცვლებულს იონმცვლელი ჯგუფებით, რომელშიც ცელულოზის სუბმიკროსტრუქტურა თითქმის უცვლელი რჩება.

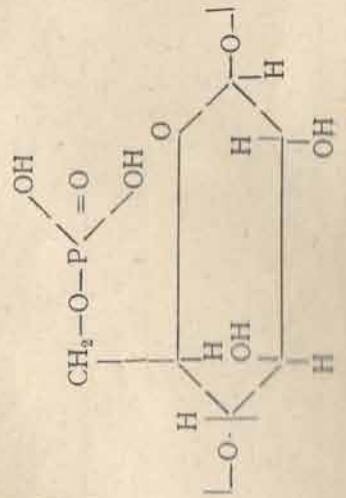
იონმცვლელი ნივთიერებანი ცელულოზის საფუძველზე წარმატებით გამოიყენება იონოგენურ ნივთიერებათა დაყოფისათვის. სხვა ტიპის იონმცვლელ ნივთიერებებთან შედარებით მათი გამოყენება განსაკუთრებით სასარგებლოა ბიოქიმიურ გამოკვლევებში მაღალმოლეკულური იონოგენური (პოლიელექტროლიტები) ნივთიერების დაყოფისა და სუფთა სახით მიღებისათვის (ცილები, ფერმენტები და სხვ.). ბოლო ხანებში იონმცვლელი ცელულოზები და იონმცვლელი გელები წარმატებით გამოიყენება სინთეზური იონმცვლელი პოლიმერების ნაცვლად, განსაკუთრებით პრეპარატულ ბიოქიმიაში.

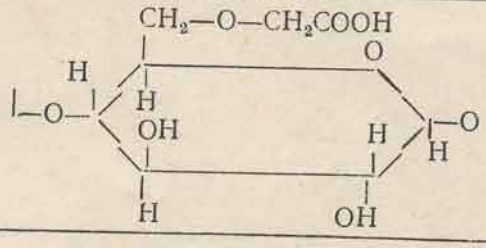
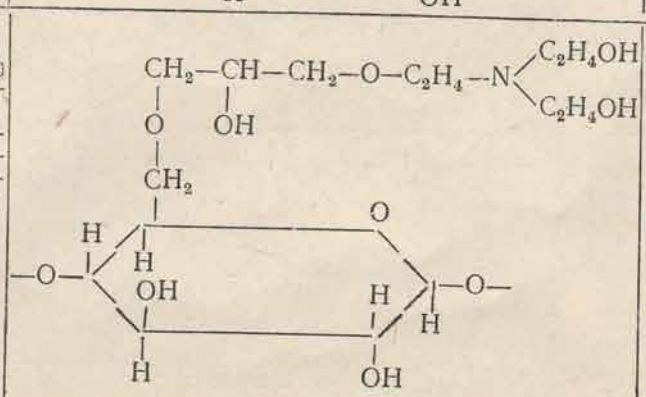
ცელულოზური იონმცვლელი ნივთიერების სტრუქტურა და თვისებები

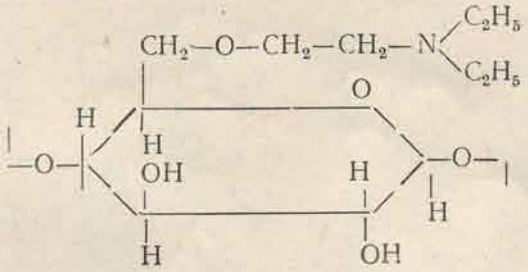
ამ ნივთიერებებს ცელულოზის მსგავსად აქვთ მრავალფაზოვანი პოლიკრისტალური სტრუქტურა. კრისტალური ნაწილაკები, რომელთა წარმოქმნაში მთავარ როლს ასრულებს წყალბადური კავშირები მოლეკულებს შორის, უზრუნველყოფენ ცელულოზის შე-

ცხრილი 37

ცელულოზური იონმცვლელები

1	2	3	4	5	6	7
ანიონმცვლელი	მოკლე დახასიათება	სტრუქტურული ბირთვი	ანიონმცვლელობა მ.ეკვ/გ.	ანიონმცვლელობა მ.ეკვ/მლ	ანიონმცვლელობა მ.ეკვ/მლ	
ცელულოზის ფოსფატი	ბიფუნქციონალური კათიონმცვლელი ნივთიერებაა. აქტიური ჯგუფების საშალებით ფოსფორეცვს და ჰიდროქსილს, რითაც ეთერის წარმოებულია.		0,7±0,1	25	80	5,0

1	2	3	4	5	6	7
კარბოქსიმეთილცელულოზა	მონოფუნქციონალური სუსტი მჟავა კათიონმცვლელი ნივთიერებაა. მაქსიმალურ ტევადობას იჩენს 4-ზე მეტი pH-ის არეში		0,7±0,1	25	80	7,0
ექტეოლა ცელულოზა	მონოფუნქციონალური სუსტი ფუძე ანიონმცვლელი ნივთიერებაა. ღებულობენ ცელულოზაზე ეპიქლორჰიდრინისა და ტრიეთილამინის ურთიერთქმედებით.		0,35±0,1	25	80	6,0

1	2		4	5	6	7
დიეთილამინოეთილ ცელულოზა	ანიონმცვლელი ნივთიერება შეიცავს მესამედ ამინოჯგუფს. მაქსიმალურ ტევადობას იჩენს არეში pH—10-ზე ქვემოთ.		0,6±0,1	25	80	9,0

ნების ანალოგიურ სივრცით სტრუქტურას. ისინი წარმოადგენენ ფაქტორებს, რომლებიც განაპირობებს ცელულოზისა და ცელულოზური იონმცვლელების უხსნადობას, რადგან ცელულოზაში ამორფული სტრუქტურის ნაწილაკებს უფრო მეტი რეაქციული უნარი ახასიათებთ. ცელულოზური იონმცვლელი ნივთიერებანი მომზადების დროს უნდა მოხვდნენ ცელულოზის მოლეკულის შედარებით მიღწევად ადგილებზე.

ცელულოზური იონმცვლელების მიღებისათვის საჭიროა ცელულოზის მოლეკულაზე ფიქსაცია გავუკეთოთ მჟავურ ან ფუძე რადიკალებს, რის შემდეგ მთლიანად პოლიმერის მოლეკულა მიიღებს მჟავას ან ფუძის თვისებას და შესაბამისად — კათიონთა ან ანიონთა გაცვლის უნარს.

იონცვლა ცელულოზურ იონმცვლელსა და ელექტროლიტს შორის ძირითადად ისევე მიმდინარეობს, როგორც სინთეზურ იონმცვლელ პოლიმერებთან.

ზოგიერთ ცელულოზურ იონმცვლელთა დამახასიათებელი მაჩვენებლები და სტრუქტურული ბირთვები მოყვანილია 30-ე ცხრილში.

ცელულოზური იონმცვლელები წარმოებიდან გამოდის შესაბამის ფორმებში, მსგავსად იონიტისა, კერძოდ — კათიონიტი წყალბადურ ფორმაში, ხოლო ანიონიტი — ჰიდროქსილური ფორმის სახით.

წარმოების მიერ გამოშვებული ცელულოზური იონმცვლელებიდან ამჟამად ყველაზე ფართო გამოყენება ჰპოვა დიეთილამინოეთილ ცელულოზამ (ДЭАЭ ცელულოზა) და კარბოქსიმეთილ ცელულოზამ (КМ ცელულოზა).

დაყოფითი ქრომატოგრაფიის მეთოდის ძირითად მოთხოვნილებას წარმოადგენს ნარევიდან კომპონენტების გამოყოფის კარგი უნარი, რაც წარმატებით ხორციელდება ცელულოზურ იონმცვლელ ნივთიერებათა მოლეკულური სტრუქტურის თავისებურებით.

ცელულოზის მოლეკულის სტრუქტურაში ჰიდროქსილის ჯგუფთა დიდი რაოდენობა აპირობებს იონცვლითი ადგილების რაოდენობის გაზრდას, ხოლო ცელულოზის ძაფისებრი ბოჭკო — აქტიურ ჯგუფებთან პოლიელექტროლიტთა მოლეკულების შეღწევას. იონმცვლელ ნივთიერებათა და პოლიელექტროლიტს შორის ბმის ძალა არ განისაზღვრება მარტო იონთა ურთიერთქმედებით. ზოგჯერ ადგილი აქვს არაიონური ხასიათის ქმედებას ცელულოზის მოლეკულასთან. ეს არაიონური ბმები (ე. წ. მეორადი) აძლიერებენ იონმცვლელ ნივთიერებათა სელექტიურობას; მას დიდი მნიშვნელობა აქვს ანალოგიური თვისებების მქონე იონთა დაყოფის დროს. ცელულოზური იონმცვლელების გამოყენებით შესაძლებელი ხდება პოლიელექტროლიტთა ისეთი ნარევის დაყოფა კომპონენტებად, რაც არ ხორციელდება მსგავსი აქტიური ჯგუფების შემცველ იონმცვლელ ფისებზე. ელუაცია ტარდება ბუფერული ხსნარების საშუალებით, რაც უზრუნველყოფს ნაკლებადმდგრადი მაღალმოლეკულური ნაერთების (ცილები, ფერმენტები და სხვ.) თავდაპირველი კონფიგურაციის შენარჩუნებას.

ცელულოზური იონმცვლელების მდგრადობა დამოკიდებულია ტექნოლოგიურ პირობებზე ნაკლებადაქტიური რეაგენტები არ იწვევენ მათი სტრუქტურის ცვლილებას, ხოლო აქტიური რეაგენტები ამა თუ იმ ხარისხით იწვევენ დაშლას. დაშლის პროდუქტების დაცილება შესაძლებელია წყლით გარეცხვით. განხილული სორბენტებიდან ნაკლებად მდგრადია ცელულოზის ფოსფატი.

გამოყენების სფერო: დიეთილამინოეთილ ცელულოზა გამოიყენება ცილების, შაქრების, ნუკლეოტიდების, ფერმენტების, ვიტამინების, ჰორმონების, ლიპიდების გამოყოფისა და გაწმენდისათვის.

ექტეოლა ცელულოზა — ამინომჟავების, ცილების და ნუკლეოტიდების ფრაქციონირებისათვის.

კარბოქსიმეთილ ცელულოზა — ცილებისა და ფერმენტების დაყოფისათვის.

ცელულოზის ფოსფატი — შრატის პროტეინების ქრომატოგრაფიული დაყოფისათვის.

ტევადობა

ცელულოზურ იონმცვლელ ნივთიერებებს, იონმცვლელ ფისებთან შედარებით, ნაკლები ნომინალური ტევადობა ახასიათებთ, მაგრამ მაღალმოლეკულური იონური ნაერთების გამოყოფისათვის მეტი მნიშვნელობა აქვს სასარგებლო ტევადობას, ვიდრე ნომინალურს. სასარგებლო ტევადობა დამოკიდებულია იონმცვლელ რადი-

კალებთან მიღწევაზე და მის გამო პოლიელექტროლიტების მიმართ ცელულოზური იონმცვლელები უფრო დიდ სასარგებლო ტევადობას იჩენენ.

იონმცვლელ ნივთიერებათა შიდა სტრუქტურის დიდი ტევადობა ზოგჯერ საზიანოა, რადგან იწვევს ისეთ მჭიდრო კავშირს იონმცვლელსა და პოლიელექტროლიტს შორის, რომლის დაძლევა ჩვეულებრივი მაელუირებელი საშუალებებით ძნელდება.

ტევადობის განსაზღვრისათვის იონმცვლელის 1 გ (გამშრალს 50—60°-ზე) საჭიროების შემთხვევაში წინასწარ დაამუშავებენ ბიუხნერის ძაბრზე შესაბამისად: ანიონმცვლელს (ДЭАЭ ცელულოზა) 50 მლ 0,5 ნ NaOH-ით, ხოლო კათიონმცვლელს (КМ ცელულოზა) 50 მლ 0,5 HlC-ით და რეცხავენ დემინერალიზებული წყლით ფილტრატის ნეიტრალურ რეაქციამდე. გადააქვთ ჭიქაში დაახლოებით 10 მლ წყლით, და უმატებენ 25 მლ 1 მლ ნატრიუმის ქლორიდს. ანიონმცვლელის პირობებში ნარევი გამოყოფს ტუტეს, ხოლო კათიონმცვლელისას — მჟავას, თანახმად ტოლობისა:

$$ROH + NaCl \rightleftarrows RCl + NaOH$$

$$RH + NaCl \rightleftarrows RNa + HCl,$$

სადაც ROH ანიონმცვლელია, ხოლო RH — კათიონმცვლელი.

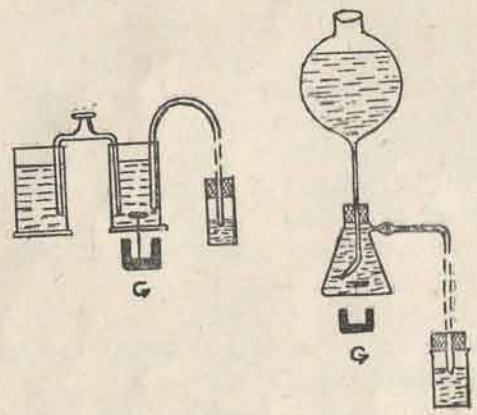
გამოყოფილ ტუტეს ტიტრავენ 0,1 ნ HCl-ით, სანამ pH არ მიაღწევს 3,0, ხოლო მჟავას — 0,1 ნ. NaOH-ით pH — 10 მიღწევამდე.

ტიტვრის დაბოლოების კონტროლი ხდება pH-მეტრით. დახარჯული ტიტრიანი ხსნარის მოცულობით ანგარიშობენ ტევადობას შესაბამისი იონის მიმართ მექვ/გ-ში. ხშირ შემთხვევაში საჭიროა განისაზღვროს იონმცვლელის ტევადობა მოცემული იონის მიმართ სტატიკურ ან დინამიკურ პირობებში.

ცელულოზური იონმცვლელების გამოყენების მეთოდები

მათი გამოყენების მეთოდების ტექნიკა ისეთივეა, რაც საერთოდ დაყოფითი ქრომატოგრაფიისა. კალონკაში, რომელშიც მოთავსებულია წინასწარ დამუშავებული და სათანადო ბუფერული ხსნარით ჩარეცხილი იონმცვლელი, შეაქვთ გამოსაკვლევი ნივთიერება. კალონკის ზედა ბოლოს უერთებენ სპეციალურ რეზერვუართან მაელუირებელი ხსნარით (სურ. 7), ხოლო ქვედა ბოლოს — ავტომატურ კოლექტორთან. აგროვებენ ელუატთა ფრაქციებს და იკვლევენ ცალკეულ ფრაქციათა შემადგენლობას შესაბამისი მეთოდით.

ა) წ ი ნ ა ს წ ა რ ი მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა. საჭიროა მოვაცილოთ ძლიერ მცირე და აგრეთვე დიდი ზომის ნაწილაკები, რისთვისაც



სურ. 7. ხელსაწყო კონცენტრაციის გრადიენტისათვის

იონმცვლელი ნივთიერების 10 გ ცილინდრში შეურევენ 200 მლ დეიონიზებულ წყალთან ერთგვაროვანი სუსპენზიის მიღებამდე. აყოვნებენ 30 წუთით და ნალექზედა სითხეს სიფონით ღვრიან. ამ დროს სცილდება შეწონილ მდგომარეობაში მყოფი მცირე ზომის ნაწილაკები. პროცესს იმეორებენ, სანამ დაყოვნებისას ნალექზედა სითხე თავისუფალი არ იქნება შეწონილი ნაწილაკებისაგან. მსხვილი ნაწილაკების დაცილებისათვის გარეცხილ ნალექს ისევ უმატებენ 200 მლ დეიონიზებულ წყალს, ნელი მორევით ღებულობენ ერთგვაროვან სუსპენზიას, რომელსაც აყოვნებენ 1—2 წუთით

მსხვილი ნაწილაკების დასალექად და ნალექზედა სუსპენზიას აცილებენ დეკანტაციით.

ბ) ციკლიზაცია. დიდი ქრომატოგრაფიული ეფექტურობისათვის საჭიროა იონმცვლელ ნივთიერებათა წინასწარი ციკლიზაცია. ეს პროცესი უმჯობესია ჩატარდეს იონმცვლელის კალონკაში გადატანამდე. 10 გ ანიონმცვლელ ნივთიერებას უმატებენ 150 მლ 0,5 ნ ქლორწყალბადმჟავას, შეურევენ და ტოვებენ დასაწდომად 1 საათით, ფილტრავენ ბიუხნერის ძაბრზე და რეცხავენ დეიონიზებული წყლით, სანამ განარეცხი წყლის pH 5 არ გახდება. შემდეგ ისევ გადააქვთ ქიმიურ ჭიქაში, უმატებენ 150 მლ 0,5 ნ ნატრიუმის ჰიდროჟანგს, ტოვებენ დასაწდომად 1 საათით, ფილტრავენ და ჩარეცხავენ დეიონიზებული წყლით, სანამ pH 7 მიაღწევს.

კათიონმცვლელი ნივთიერების ციკლიზაცია ტარდება ზემოთ აღწერილის მსგავსად, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ დამუშავება პირველად ხდება ტუტის ხსნარით და შემდეგ — მჟავით.

ბოლოს, კალონკაში გადატანამდე იონმცვლელ ნივთიერებას დაამუშავებენ შესაბამისი ბუფერული ხსნარით.

გ) ქრომატოგრაფიის კალონკის მომზადება და სინჯის შეტანა. გამოიყენება სხვადასხვა ზომის კალონკები 10—25 სმ სიმაღლისა. კალონკის შიდა დიამეტრის შეფარდება სიმაღლესთან 1 : 10—1 : 20 ფარგლებში. კალონკის ფსკერზე დებენ მინის ბამბას. კალონკაში ძაბრის საშუალებით ასხამენ ბუფერულ ხსნარში სუსპენზირებულ წინასწარ დამუშავებულ იონმცვლელს; პირველად კალონკის გასასვლელი ონკანი დაკეტილია, ხოლო, როდესაც ცელულოზური იონმცვლელის დამჯდარი ფენის სისქე მიაღწევს რამღენიმე სანტიმეტრს, ონკანს ხსნიან და განაგრძობენ დალექვას გამაეალ სისტემაში. სათანადო სიმაღლის ფენის მიღების შემდეგ ძაბრს ხსნიან. კალონკაში არ უნდა იყოს ჰაერის ბუშტუკები და ფენის ზედაპირს ჰორიზონტალური მდებარეობა უნდა ჰქონდეს. ნარევის კარგად დაყოფისათვის კალონკაში უნდა შევიტანოთ გამოსაკვლევი ნივთიერების მცირე ოდენობა, დაახლოებით 0,1 გ ნივთიერება 1 გ იონმცვლელზე.

კალონკაში ქრომატოგრაფირებისათვის სინჯის შეტანის წინ ქვედა ონკანის გახსნით სითხის მენისკს დაიყვანენ სორბენტის ზედაპირის დონემდე და ფრთხილად პიპეტის საშუალებით შეაქვთ გამოსაკვლევი ხსნარი კალონკაში (არევის თავიდან ასაცილებლად სორბენტის ზედაპირზე ათავსებენ ფილტრის ქაღალდის ნაჭერს). ონკანის ფრთხილად გაღებით სინჯი ჩადის იონმცვლელის ფენაში, რის შემდეგაც ტარდება ელუირება გარკვეული სიჩქარით და შესაბამის ტემპერატურაზე (ზოგჯერ საჭიროა გამოსაკვლევი ნივთიერების ბუნების გათვალისწინებით ქრომატოგრაფირება ჩატარდეს დაბალ ტემპერატურაზე).

დ) ცდის ჩატარების პირობების შერჩევა. ქრომატოგრაფირების წარმატებით ჩატარებისათვის, ე. ი. ნარევიდან ნივთიერებათა სრულყოფილი დაცილებისათვის, საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს რიგი ფაქტორები: pH-ის ფარგლები ოპტიმალური ადსორბციისა, რომლის დროსაც იონმცვლელი და პოლიელექტროლიტი კარგად დისოცირდებიან. ამასთანავე, ადსორბციის ეფექტურობა მით მეტია, რამდენადაც მცირეა მაელუირებელი ბუფერული ხსნარის იონური ძალა. ელუაცია ტარდება ბუფერული ხსნარის იონური ძალის თანდათანობით გაზრდით საფეხურებრივად ან გრადიენტულად.

ნარევის წარმატებით დაყოფისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს იონმცვლელის სწორად შერჩევას. თუ გამოსაკვლევი ნივთიერების მოლეკულა მოცემული pH-ის არეში დამუხტულია დადებითად, საჭიროა შევარჩიოთ იონმცვლელი, რომელიც დისოციაციით მოცემულ არეში უარყოფითი მუხტის მატარებელია, ე. ი. კათიონმცვლელია (კათიონიტი). როდესაც ჩვენთვის საინტერესო ნივთიერების მოლეკულა დისოციაციით უარყოფითი მუხტის მატარებლია, მაშინ ქრომატოგრაფირებისათვის უნდა ვისარგებლოთ ანიონმცვლელით.

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა გასუფთავება-გამოყოფისათვის ზოგჯერ სარგებლობენ მინარევების ადსორბციის თვისებით. ამ დროს საინტერესო ნივთიერება ფილტრატში გადადის მინარევებისაგან განთავისუფლებული.

დიდი მნიშვნელობა აქვს მოქმედი ბუფერული ხსნარის სწორად შერჩევას. ბუფერულ ხსნარს უნდა ჰქონდეს შესაფერისი pH, რათა არ გამოიწვიოს ბიოპოლიმერის მოლეკულის ნაკლებად მდგრადი სტრუქტურის შეცვლა (ფერმენტის ინაქტივაცია) და ამასთანავე ქმნიდეს ელუაციის ოპტიმალურ პირობებს. სასურველია, რომ ბუ-

ფერული ხსნარის კონცენტრაცია იყოს დაბალი და გააჩნდეს საკმაო ბუფერული ტევადობა, რათა ავიცდინოთ pH-ის მომატება ელუაციის პერიოდში.

pH 5-ის ფარგლებში ქრომატოგრაფირებისათვის რეკომენდებულია აცეტატური ბუფერი; pH 7-ის პირობებში — ფოსფატური ბუფერი, pH-8 ტრისბუფერი ან ბორატული ბუფერი და სხვ.

ქრომატოგრაფირების დროს დაყოფითი ფუნქციის გაზრდის მიზნით ბუფერულ ხსნარებს სპეციალურ რეზერვუარში ემატება მარილის ხსნარი (უმთავრესად ნატრიუმის ქლორიდი) იონური ძალის გაზრდის მიზნით. ზოგიერთ შემთხვევაში ზრდიან აგრეთვე ბუფერული ხსნარის pH-ს. დადებითი მუხტის მქონე მოლეკულების, რომლებიც ადსორბირებულია კათიონიტზე, ელუაციის გაუმჯობესებისათვის ზრდიან ბუფერული ხსნარის pH-ს, რაც გაპირობებულია პოლიელექტროლიტის ფუნქციონალური ჯგუფების დისოციაციის უნარის შესუსტებით. ანიონიტზე ადსორბირებულ მოლეკულათა ელუაციის გაუმჯობესებისათვის კი საჭიროა მაელუირებელი ხსნარის pH-ის სიდიდის შემცირება. ქრომატოგრაფირების დროს მიღებულ ელუატთა ფრაქციებს იკვლევენ უმთავრესად სპექტრის შთანთქმით ან ქაღალდზე ქრომატოგრაფირებით და აგებენ ქრომატოგრამას გრაფიკულად.

ე) რ ე გ ე ნ ე რ ა ც ი ა. გამოყენების შემდეგ შეიძლება კალონკის რეგენერაცია. კათიონიტის რეგენერაცია ხდება 0.5 ნ ქლორწყალბადმჟავით, ხოლო ანიონიტისა — 0.5 ნ ნატრიუმის ჰიდროჟანგით, ისევე როგორც ეს აღწერილია ქვეთავში — ციკლიზაცია. (გვ. 230)

ᲒᲔᲚᲘᲡ ᲤᲘᲚᲢᲠᲘ — ᲡᲔᲤᲐᲓᲔᲥᲡᲘ

გელური ფილტრები (მოლეკულური საცრები) განმანაწილებელი ქრომატოგრაფიის მეთოდია. გელები სივრცითი, ბადისებური სტრუქტურის გამო, რომლებიც მოლეკულური საცრების თვისებებს იჩენენ, გამოიყენება ნივთიერებათა დაყოფისა და გასუფთავების რიგი ამოცანების გადასაწყვეტად. ის მოლეკულები, რომელთა ზომა აღემატება სივრცით ბადისებური მესერის შუალედებს, უფრო ჩქარა გაივლიან კალონკას, ვიდრე მცირე ზომის მოლეკულები, რომლებიც გადიან მხოლოდ გელის შიგნითა ნაწილის

სივრცითი ბადისებური მესერის შუალედებს შორის, და ამგვარად იძულებულნი არიან გაიარონ უფრო დიდი გზა გელის კალონკიდან. უფრო გვიან გამოირიცხებიან შედარებით მცირე ზომის მოლეკულები.

ყველაზე უფრო გავრცელებულია გელური ფილტრები დამზადებული აგარ-აგარისაგან, სახამებლისა, პოლიაკრილამიდისა და დექსტრანისაგან (მაგალითად, ბიოგელი, სეფადექსი და სხვა).

სეფადექსი წარმოადგენს ძლიერ ჰიდროფილურ, არაიონურ პოლისაქარიდს სივრცითი ბადისებური სტრუქტურით, იგი სრულიად ინდიფერენტულია კათიონებისა და ანიონების მიმართ და, გამომდინარე აქედან, წარმატებით გამოიყენება იონთა მინარევისაგან ბიოლოგიურ ნივთიერებათა განთავისუფლებისათვის, ცილის პოლიმერული ჰომოლოგებისა და პოლისაქარიდების ფრაქციონირებისათვის მათი მოლეკულის ზომის მიხედვით, აგრეთვე სხვადასხვა მოლეკულური წონის ნივთიერებათა ნარევის დაყოფისათვის და სხვ.

გელური ფილტრები იხმარება წყალში გაჯირჯვებული. მათი გაჯირჯვება შეიძლება სხვა პოლარულ გამხსნელებშიც, როგორიცაა ეთილენგლიკოლი, ფორმამიდი და სხვა. ძლიერ კონცენტრირებული რეაქტივები აზიანებენ გელურ ფილტრებს.

სივრცითი სტრუქტურის წარმოქმნის ხარისხის მიხედვით ამზადებენ სხვადასხვა ტიპის სეფადექსებს, რომელთაც ახასიათებთ გარკვეული გაჯირჯვადობა წყალში და წყლის დამჭერი უნარი.

ცალკეულ გელს შეუძლია გარკვეული მოლეკულური წონის ნივთიერებათა ფრაქციის შეკავება. ამჟამად არსებული სეფადექსები აკავებენ ნივთიერებებს, რომელთა მოლ. წონა 200.000-მდე აღწევს.

სეფადექსი G-25 გამოიყენება მოლ. წ. 4000-ზე მეტი მოლეკულების დასაცილებლად, 1000-ზე ნაკლები მოლ. წ. ნივთიერებისაგან და 0—2000-მდე მოლ. წ. მოლეკულათა ფრაქციონირებისათვის, აგრეთვე ხსნარის კონცენტრირებისათვის.

სეფადექსი G-50 — მოლ. წ. 10.000-ზე მეტი მოლეკულების დასაცილებლად 3000-ზე ნაკლები მოლ. წ. მოლეკულებისაგან; 1000—10.000 მოლ. წ. მოლეკულების ფრაქციონირებისათვის და აგრეთვე ხსნართა კონცენტრირებისათვის.

სეფადექსი G-75 — 50.000-ზე მეტი მოლ. წ. მოლეკულათა დასაცილებლად 10000-ზე ნაკლები მოლ. წ. მოლეკულებისაგან და 1000—40000 მოლ. წ. მოლეკულათა ფრაქციონირებისათვის.

სეფადექსი G-100 გამოჰყოფს ნივთიერებებს, რომელთა მოლ. წ.100.000-ზე მეტია, ხოლო G-200 კი 200.000-ზე მეტი მოლ. წ. ნივთიერებებს უფრო მცირე მოლ. წ-ნის ნივთიერებებისაგან.

სეფადექსის მოხმარებით შეიძლება განხორციელდეს მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების კონცენტრირება. ამისათვის ხსნარში, რომლის კონცენტრირებაა საჭირო, შეურევენ მშრალ სეფადექსს სქელი სუსპენზიის წარმოქმნამდე. სეფადექსი ითვისებს წყალს და იჯირჯვება. მაღალმოლეკულური ნაერთები რჩება სეფადექსის გრანულების გარეთ. დაბალმოლეკულური ნივთიერებანი ნაწილდებიან გრანულის შიგნით და გარემოში. დაახლოებით 10 წუთის შემდეგ გელს აცენტრიფუგირებენ და ბიუხნერის ძაბრზე ფილტრავენ. კონცენტრირების აღნიშნული პროცედურა შეიძლება განმეორებულ იქნეს სეფადექსის ახალი ულუფის დამატებით. ამ მარტივი და ჩქარი პროცედურის დროს ცვლილებებს არ განიცდის ძლიერ ლაბილური ცილებიც კი.

სეფადექსები ძირითადად გამოიყენება განმანაწილებელ ქრომატოგრაფიაში, ამასთანავე იყენებენ ელექტროფორეზისა და თხელ ფენაზე ქრომატოგრაფიისათვის.

თ ე ო რ ი ა. სეფადექსის კალონკა შეიცავს ორი სახის წყალს — „შინაგანს“ და „გარეგანს“. შინაგანის მოცულობა (V_b) ტოლია გელის ყველა გრანულში წყლის რაოდენობის ჯამისა. შინაგანი მოცულობის ნაწილი უკავია ჰიდრატირებულ წყალს, რომელიც მჭიდროდაა დაკავშირებული ბირთვთან და როგორც გამხსნელი არ არის აქტიური. გარეგან მოცულობად (V_n) იგულისხმება მოცულობა, რომელიც უჭირავს გრანულების გარემომცველ წყალს. თვით გრანულთა მოცულობა აღინიშნება (V_m). კალონკის მოცულობა შეიძლება გამოვსახოთ:

$$V = V_b + V_n + V_m$$

გახსნილი ნივთიერების გ ა ნ ა წ ი ლ ე ბ ი ს კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი შინაგან (V_b) და გარეგან (V_n) წყალს შორის აღინიშნება—Kp.

თუ ნივთიერების განაწილების კოეფიციენტი Kp=0, იგი სრულიად ვერ აღწევს გელის გრანულებში; თუ ნივთიერების Kp-ს მნიშვნელობა 0—1 შორისაა, მხოლოდ ნაწილობრივ აღწევს გრანულებში. ნივთიერება, რომლის Kp=1 თანაბრად ნაწილდება გრანულის შიგნით და გარეთ. ნივთიერება, რომლის Kp>1 ნაწილობრივ აღსორბირდება ნაწილაკებზე. ამ შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა აქვს მოლეკულის სიდიდეს.

სეფადექსის გელში გატარებით ნივთიერებათა დაყოფა მით უფრო ეფექტურია, რაც მეტია სხვაობა ნივთიერებათა განაწილების კოეფიციენტთა — Kp შორის. სრული დაყოფისათვის საჭიროა კალონკაში შეტანილი ნივთიერების რაოდენობა გამოანგარიშებულ იქნეს ტოლობით:

$$Kp^2 — Kp^1 \cdot V_n,$$

სადაც Kp^1 და Kp^2 დასაყოფ ნივთიერებათა განაწილების კოეფიციენტებია. პრაქტიკულად აღებულ უნდა იქნეს თეორიულად გამოანგარიშებულთან შედარებით ნაკლები რაოდენობა.

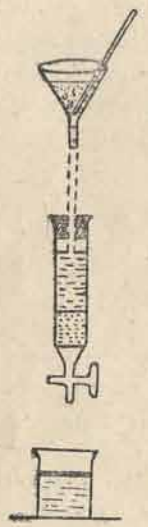
გ ა ჯ ი რ ჯ ვ ე ბ ა. სეფადექსები და სილიკაგელი ჩვეულებრივ მშრალი სახითაა გამოშვებული, ხმარებისათვის საჭიროა მისი გაჯირჯვება წყალში. ამისათვის მშრალ სეფადექსს ჩაყრიან ქიმიურ ჭიქაში, რომელშიც ჩასხმულია 10—20 ნაწილი წყალი და ტოვებენ ხშირი მორევით 10—12 საათით. ნატრიუმქლორიდის 1%-მდე კონცენტრაცია ხელს უწყობს გაჯირჯვების პროცესს. გაჯირჯვების დროს საჭიროა მოცილდეს წვრილი ნაწილაკები, რისთვისაც პერიოდულად ურევენ და დეკანტაციით აცილებენ შეტივნარებულ მდგომარეობაში მყოფ ნაწილაკებს.

კ ა ლ ო ნ კ ი ს მ ო მ ზ ა დ ე ბ ა. გელფილტრაციისათვის გამოიყენება იგივე კალონკები, რაც საერთოდ ქრომატოგრაფიისათვის, მხოლოდ იმ თავისებურებით, რომ ამ შემთხვევაში სვეტის დიამეტრისა და სიმაღლის შეფარდებას იღებენ 1 : 20—1 : 100.

კალონკის მომზადებისათვის ძირში ათავსებენ მინის ბამბის ფენას, ხოლო ზემოდან შეუერთებენ ძაბრით. ქვედა ონკანის დახურვის შემდეგ ძაბრით კალონკაში ასხამენ სეფადექსის სუსპენზიას, რომელიც წინასწარ არის გაჯირჯვებული წყალში ან შესაბამის ბუფერულ ხსნარში. აუცილებელია კალონკაში ჩასასხმელ სეფადექსის

სუსპენზიას მუდმივად ვურევდეთ, ძაბრში სუსპენზიის შერევის მიზნით ჩადებულია მინის წკირი (სურ. 8).

როდესაც კალონკაში დამჯდარი გელის ნაწილაკების ფენა 3—4 სმ აღწევს, კალონკის ქვედა ონკანი უნდა გაიხსნას და დალექვა გაგრძელდეს გამდინარე სისტემაში. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, რომ კალონკა იყოს ზუსტად ვერტიკალურ მდგომარეობაში. დახრილ კალონკაში ფრონტი თანაბრად არ გადაადგილდება და აქედან გამომდინარე დაყოფაც კარგად არ მიმდინარეობს.



სურ. 8. მფილტრავი გელის კალონკა

კალონკაში სასურველი სიმაღლის გელის ჭიღების შემდეგ ძაბრს ხსნიან და აგრძელებენ ბუფერული ხსნარის გატარებას რეზერვუარიდან წნევით, სანამ გელის სვეტში სტაბილურ მდგომარეობას არ დაიჭერს (ამისათვის საჭიროა ფენის მიმართ 3—5 მოცულობა წყალი ან ბუფერული ხსნარი).

გელის კალონკაში არ უნდა იყოს ჰაერის ბუშტუკები, უნდა იყოს ერთგვაროვანი და ჰორიზონტალური ზედაპირი. რომ არ აირიოს გელი, მის ზედაპირზე ათავსებენ ფილტრის ქაღალდის დისკს, ხოლო დიდი ზომის კალონკებზე—ნეილონის ქსოვილის ბადეს. ამგვარად მომზადებულ კალონკას ახურავენ სახურავს, კეტავენ ქვედა ონკანს და ტოვებენ გამოყენებამდე.

გ ე ლ ში ფ ი ლ ტ რ ა ც ი ი ს ტ ე ქ ნ ი კ ა. გამოსაკვლევი ნიმუში კალონკაში შეაქვთ ორი წესით:

ა) ხსნიან ონკანს და სითხეს უშვებენ, სანამ არ ჩამოვა გელის ზედაპირამდე. ამის შემდეგ ონკანს დახურავენ და პიპეტით ან შპრიცით გელის ზედაპირზე შეაქვთ გამოსაკვლევი ხსნარი, მაშინვე აღებენ ონკანს და სითხის გაშვებით სინჯი შეჰყავთ გელის ფენაში. როდესაც სინჯი მთლიანად შეიწოვება გელში, ზემოდან 2—3-ჯერ ასხამენ გამხსნელის ულუფებს და აცდიან, რათა სინჯი მთლიანად გადაიტანონ გელში და მხოლოდ ამის შემდეგ ასხამენ მაელუირებელ ხსნარს.

ბ) საკვლევი ნიმუშის შეტანა გელის ზედაპირზე შეიძლება გამდინარე სისტემაში პიპეტის საშუალებით ან პლასტმასის წვრილი მილით ისე, რომ სინჯი ისხმებოდეს გელის ზედაპირისა და სითხის საზღვარზე.

ორთავე შემთხვევაში გამოსაკვლევი ხსნარის ფენა, რომელიც შეგვაქვს კალონკაში, არ უნდა აღემატებოდეს რამდენიმე მმ, რადგან სინჯის დიდი მოცულობა აუარესებს დაყოფის პირობებს.

პირველი მეთოდი უფრო მარტივია, მაგრამ არ უნდა მოხვდეს ჰაერის ბუშტუკი კალონკაში გამხსნელის ულუფების გატარებისას. წინააღმდეგ შემთხვევაში კალონკა ხელახლა უნდა მომზადდეს.

ელუაცია ტარდება წნევის შექმნის გარეშე ან წნევის ქვეშ. უკანასკნელ შემთხვევაში იყენებენ დევილის შუშას ან ჰაერის ბალონს.

ელუაციის სიჩქარე რეგულირდება კალონკის ონკანით ან წნევის სიდიდით, ამასთანავე, საჭიროა მიღწეულ იქნეს დინების მუდმივი სიჩქარე. ელუატებს აგროვებენ ფრაქციულად. რაიმე მასალის მაელუირებელი მოცულობა (V_e) გარკვეული სიდიდის განაწილების კოეფიციენტის პირობებში (pK) შეიძლება გამოთვლილ იქნეს წინასწარ, ფორმულით: $V_e = V_b + Kp \cdot a$, სადაც a — მშრალი გელის წონაა.

რ ე გ ე ნ ე რ ა ც ი ა. სეფადექსის კალონკებს არ სჭირდებათ განსაკუთრებული რეგენერაცია, მხოლოდ უნდა დავრწმუნდეთ, გამოვიდა თუ არა გელიდან წინასწარ შეტანილი ნივთიერება. ამისათვის კი საჭიროა კალონკაში გავატაროთ გამხსნელი ან ბუფერული ხსნარის დაახლოებით გელის ორი მოცულობა. მექანიკური მინარევების დასაცილებლად კალონკაში ატარებენ გამხსნელს ან ბუფერს ქვემოდან ზემოთ ნელი დინებით იმგვარად, რომ მცირე ნაწილაკები წარიტაცოს სითხემ და გელს მოაცილოს.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: სეფადექსის კალონკის არასამუშაო მდგომარეობაში მიკრობების ზემოქმედებისაგან დაცვისათვის უმატებენ რამდენიმე წვეთ ტოლუოლს, ფენოლს ან ქლოროფორმით ნაჯერ ბუფერულ ხსნარს.

გელი შეიძლება გასტერილებულ იქნეს 100—110°-ზე ნეიტრალურ არეში ან ფორმალინის გატარებით კალონკაში.

გელი შეიძლება გავაშროთ. ამისათვის მას რეცხავენ ბიუხნერის ძაბრზე მარილების მოცილებამდე, შემდეგ უმატებენ 50%-იან ეთანოლს, ურევენ 5—10 წუთს და სითხეს გაჭაჩავენ ტუმბოთი. ამ პროცედურას იმეორებენ 4—5-ჯერ და ბოლოს აუწყლოებენ 99°-იანი ეთანოლით, რის შემდეგ აშრობენ ჰაერში თხელ ფენად.

თერმოლაბილური ბიოპოლიმერების გელფილტრაციის დროს ფრაქციონირება უნდა ჩატარდეს დაბალ ტემპერატურაზე, რისთვისაც საჭიროა ოთახი-მაცივარი.

გაზური ქრომატოგრაფია

ჩვეულებრივ ქრომატოგრაფიაში მოძრავი თხევადი ფაზის შეცვლამ გაზით შექმნა პირობა ქრომატოგრაფიული ანალიზის ახალი მეთოდისათვის. იმასთან დაკავშირებით, რომ გაზი ნაკლებად მკვრივია სითხეზე, დამყოფი კალონკის წინააღმდეგობა გაზის ნაკადისათვის მნიშვნელოვნად მცირეა. ეს საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად შევამციროთ ანალიზისათვის საჭირო დრო. ამასთანავე, დაყოფის ეფექტურობა საკმაოდ მაღალია, რადგან უძრავი ფაზის ზედაპირზე უფრო ინტენსიური ხდება მასათა ცვლა.

გაზური ქრომატოგრაფია მოიცავს ყველა ქრომატოგრაფიულ მეთოდს, რომლებშიც მოძრავ ფაზად გაზი გვევლინება.

უძრავი ფაზა შეიძლება იყოს მყარი ნივთიერება (ადსორბენტი) ან სითხე.

ფაზათა აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით შესაძლებელია შემდეგი ვარიანტები:

I უძრავი ფაზა მყარი ნივთიერებაა: 1) მოძრავი ფაზა — გაზი (გაზურ-ადსორბციული ქრომატოგრაფია); 2) მოძრავი ფაზა — სითხეა (სითხეთა ქრომატოგრაფია ადსორბენტზე);

II. უძრავი ფაზა სითხეა: 1) მოძრავი ფაზა — გაზი (გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფია); 2) მოძრავი ფაზა — სითხეა (სითხოვანი დაყოფითი ქრომატოგრაფია).

პრაქტიკული განხორციელების თვალსაზრისით გაზური ქრომატოგრაფია უმთავრესად გამოიყენება ელუაციური ქრომატოგრაფიის გამომმჟღავნებელი ვარიანტის სახით. უძრავ ფაზად ამ დროს გამოიყენება სითხე, შეტანილი მყარ ინერტულ სორბენტზე. ამ შემთხვევაში ლაპარაკია გაზურ-სითხოვან დაყოფით ქრომატოგრა-

ფიაზე ან უფრო იშვიათად მყარი აქტიური სორბენტის პირობებში გაზურ-ადსორბციული ქრომატოგრაფიაზე. არსებობს აგრეთვე ფრონტალური ანალიზისა და გამოძევებითი ქრომატოგრაფიის მეთოდები.

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიის მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: სინჯი შეაქვთ გამაცხელებელ სისტემაში, საიდანაც ნივთიერებანი გამოდის გაზის სახით და გადაადგილდება ინერტული გაზის ნაკადთან ერთად, გაივლის სტაციონარულ ფაზას, რომელშიც მოთავსებულია მყარი ადსორბენტი. ნივთიერებათა განაწილება ხდება თხევად და გაზობრივ ფაზათა შორის, ნარევის კომპონენტები გადაადგილდება მხოლოდ გაზური ფაზის მოძრაობის ხარჯზე.

გაზური ქრომატოგრაფიის პრინციპული სქემა (ნახ. 36-ზე) მოიცავს სამ ძირითად ელემენტს. ესენია — დამყოფი ქრომატოგრაფიული კალონკა გავსებული უძრავი თხევადი ფაზით, ინერტულ სორბენტზე ინერტული გაზის წყარო და მოწყობილობა საანალიზო ნარევის კომპონენტთა გამომჟღავნებისათვის მათი დაყოფის შემდეგ. დანარჩენი მოწყობილობა — წნევის რეგულატორი, თერმოსტატი. სინჯის შესატანი და დაყოფილ ნივთიერებათა დამჭერი და გამომმჟღავნებელი მოწყობილობა საჭიროა დაყოფის დროს სტაბილური პირობების შენარჩუნებისათვის.

ცდის ნორმალურ პირობებში დაკავების დრო, ანუ დრო სინჯის შეყვანიდან ნივთიერების კალონკიდან გამოსვლამდე, დამახასიათებელია თითოეული ნაერთისათვის.

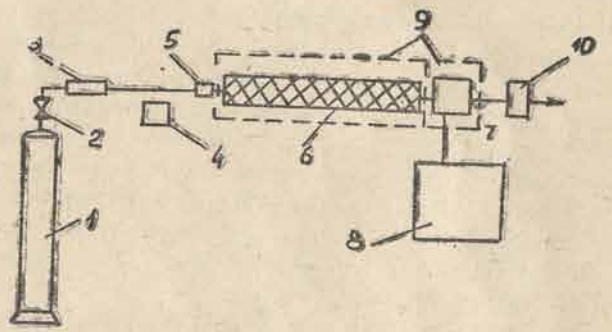
დროს, რომელიც შეესაბამება კალონკიდან კომპონენტის მაქსიმალური კონცენტრაციის გამოჩენას, უწოდებენ დაკავების მაქსიმალურ დროს ან მოკლედ დაკავების დროს. წამლები გაზის მოცულობას, რომელიც მაქსიმალურ კონცენტრაციას შეესაბამება (პიკის მაქსიმუმი), უწოდებენ დამჭერ მოცულობას.

კალონკები წარმოადგენენ მინის ან მეტალის მილს 0,5 სმ შიდა დიამეტრით და სიგრძით 1—10 მ; გამოიყენება აგრეთვე კაპილარული კალონკები.

უძრავი თხევადი ფაზა შერჩეულ უნდა იქნეს დასაყოფი ნივთიერებების ბუნების გათვალისწინებით. ძირითადი მოთხოვნილება უძრავი თხევადი ფაზისათვის გამოიხატება მის ქიმიურ მდგომარე-

ობაში და არააქროლადობაში კალონკის სამუშაო ტემპერატურულ პირობებში.

ამჟამად მაქსიმალური სამუშაო ტემპერატურა შეადგენს 300—350°. გამხსნელის შერჩევა უმთავრესად ცდის საფუძველზე ხდება. ჩვეულებრივ ერთნაირი პოლარობის და განსხვავებული დუღილის წერტილის ნივთიერებათა დაყოფისათვის უკეთესია არაპოლარული სტაციონარული ფაზა. ამ მიზნით სითხეებიდან შედარებით უფრო ხშირად გამოიყენება: სკვალანი, სილიკონური ზეთი, მაღალმოლეკულური სპირტების ეთერები, პოლიეთილენ გლიკოლი და სხვ.



ნახ. 36. გაზური ქრომატოგრაფიის სქემა.
1—გაზის ბალონი; 2—ვენტილი რეგულირებისათვის; 3—ფილტრი და გამშრობი; 4—მანომეტრი; 5—დოზატორი; 6—კალონკა; 7—დეტექტორი; 8—თერმოსტატი; 9—თერმისტატი; 10—გაზის დინების სიჩქარის მზომი.

ქრომატოგრაფიული კალონკის დაყოფითი ეფექტურობა დამოკიდებულია აგრეთვე ინერტული სორბენტის ხასიათზე. სორბენტს უნარი უნდა ჰქონდეს უძრავი თხევადი ფაზის ადსორბციისა. ამასთანავე მასზე არ უნდა ადსორბირდებოდეს დასაყოფი ნივთიერება, სორბენტი ფორიანი უნდა იყოს და გამოირჩეოდეს საკმაო ზედაპირით. დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე სორბენტის ნაწილაკთა ზომას, რადგან მასზე არის დამოკიდებული მოძრავი ფაზის სიჩქარე.

მყარი სორბენტებიდან უფრო ხშირად გამოიყენება ცელიტი—545, ცეცხლგამძლე აგური და სხვადასხვა მარკის ქრომოსორბი.

ნივთიერებათა დაყოფის შესაძლებლობა გაზური ქრომატოგრაფიის მეთოდით განისაზღვრება ორი ურთიერთისაგან დამოკიდებული პარამეტრით — განაწილების კოეფიციენტით და კალონკის ეფექტურობით.

გაზური ქრომატოგრაფია წარმოადგენს შესანიშნავ მეთოდს ორგანულ ნაერთთა არა მარტო დაყოფისა და თვისობრივი გამოკვლევისათვის, მისი საშუალებით ხორციელდება აგრეთვე რაოდენობრივი ანალიზიც.

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიული მეთოდის თვისობრივი ანალიზის საფუძველს წარმოადგენს განმანაწილებელი ქრომატოგრაფიის საერთო მოთხოვნები, ხოლო გაზური ქრომატოგრაფიის მეთოდში ძირითად პარამეტრს ნაერთთა იდენტიფიკაციისათვის — დამკავებელი მოცულობის სიდიდე (VR), რომელიც კონსტანტაა უცვლელი პირობებისათვის.

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიის რაოდენობითი ანალიზის მეთოდის საფუძველს შეადგენს ქრომატოგრაფიული პიკების ფართობთა გაზომვა და გამოთვლა. ამასთანავე, რაოდენობითი ანალიზის აუცილებელ პირობად ითვლება მათი სიმეტრიულობა.

პიკების ფართობთა გაზომვისათვის არსებობს სხვადასხვა მეთოდი. უპირატესობას ანიჭებენ ინტეგრალურ დეტექტირებას, რომლებიც უშუალოდ საზღვრავენ ყველა ნაერთის ეფექტის ჯამს. დიფერენციალური დეტექტირებით მუშაობის დროს, რომლითაც სწრაფად ისაზღვრება გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაცია, პიკთა ფართობების გაზომვა ხდება პიკის სიმაღლისა და სიფართის ნამრავლით პლანიმეტრიულად.

გარდა ნაერთთა თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრისა, გაზური ქრომატოგრაფიის მეთოდით შესაძლებელია ნივთიერებაში მინარევების რაოდენობრივი განსაზღვრა დიდი სიზუსტით.

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფია

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიის მეთოდში უძრავ ფაზას სითხე წარმოადგენს, მოძრავს კი — გაზი. იმასთან დაკავშირებით, რომ გაზი სითხეზე ნაკლებად მკვრივია, დამყოფი სვეტის წინააღ-

მდგომა გაზის ნაკადისათვის მნიშვნელოვნად მცირეა, დაყოფის ეფექტურობა საკმაოდ მაღალია, რადგან უძრავი ფაზის ზედაპირზე უფრო ინტენსიურად ხდება მასალათა ცვლა.

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიის მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: სინჯი შეაქვთ გამცხელებელ სისტემაში, საიდანაც ნივთიერებები გამოდის გაზის სახით და გადაადგილდება ინერტული გაზის ნაკადთან ერთად, გაივლის სტაციონალურ ფაზას, რომელშიც მოთავსებულია მყარი ადსორბენტი. ნივთიერებათა განაწილება ხდება თხევად და გაზობრივ ფაზათა შორის, ნარევის კომპონენტები გადაადგილდება მხოლოდ გაზური ფაზის მოძრაობის ხარჯზე.

დაკავების დრო, ანუ დრო სინჯის შეყვანიდან ნივთიერების სვეტიდან გამოსვლამდე დამახასიათებელია ცალკეული ნივთიერებისათვის, ე. ი. მიგვითითებს იგივეობაზე: გამოსვლა ქრომატოგრამაზე პიკის სახით აღინიშნება.

გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიის რაოდენობითი ანალიზის მეთოდის საფუძველს შეადგენს ქრომატოგრაფიული პიკების ფართობთა გაზომვა და გამოთვლა. ამასთან როდენობით ანალიზში აუცილებელ პირობად ითვლება მათი სიმეტრიულობა. პიკების ფართობთა გაზომვისათვის მოწოდებულია სხვადასხვა მეთოდი. უპირატესობას ანიჭებენ ინტეგრალურ დეტექტირებას, რომლის დროს უშუალოდ საზღვრავენ ყველა ნაერთის ეფექტის ჯამს დიფერენციალური დეტექტირების დროს, რომლითაც ისაზღვრება გამოსაკვლევი ნივთიერების კონცენტრაცია, პიკთა ფართობების გაზომვა ხდება პლანიმეტრიულად.

გაზურ და გაზურ-სითხოვან ქრომატოგრაფებში გამოყენებულია სხვადასხვა დეტექტორები: ალიან-იონიზაციური, ელექტრო-მიმტაცებელი და სხვა.

ნაერთთა თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრის გარდა გაზური და გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფიული მეთოდებით შესაძლებელია სამკურნალო ნივთიერებაში მინარევების რაოდენობრივი განსაზღვრა დიდი სიზუსტით.

მაღალეფექტური თხელფენოვანი ქრომატოგრაფია

დღეისათვის, თხელფენოვან ქრომატოგრაფიაში შეიქმნა ახალი მიმართულება — მაღალეფექტური თხელფენოვანი ქრომატოგრაფია. მეთოდს ახასიათებს რიგი უპირატესობანი, უკვე არსებულ ქრომატოგრაფიული დაყოფის მეთოდთან შედარებით. ესაა: მაღალეფექტურობა, ექსპრესულობა და მაღალი მგრძნობელობა. ამ მეთოდით რაოდენობრივი განსაზღვრების დროს ფართოდ გამოიყენება ოპტიკური სკანირება. მაღალეფექტური თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიული განსაზღვრების დროს აუცილებელია გამოყენებულ იქნეს მცირე ზომის ერთგვაროვანი ნაწილაკების თხელი ფენით დაფარული ფირფიტები. გაზურ ქრომატოგრაფიასთან ანალოგიის მიხედვით მაღალეფექტური თხელფენოვანი ქრომატოგრაფია შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც კაპილარული ქრომატოგრაფია თხელფენოვან ქრომატოგრაფიაში.

ახალი მეთოდის შესაძლებლობათა ილუსტრირება შეიძლება შემდეგი კონკრეტული მონაცემებით: ანალიზის ერთი ციკლის მსვლეობისას შესაძლებელია 40 სხვადასხვა ნივთიერების სრული დაყოფა. დაყოფის ეფექტურობა საშუალოდ წუთში 5 კომპონენტზე მეტია.

მაღალეფექტური თხელფენოვანი ქრომატოგრაფული განსაზღვრებისას მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მაღალეფექტურ სითხოვან ქრომატოგრაფიაში.

მაღალეფექტური სითხოვანი ქრომატოგრაფია

მაღალეფექტური სითხოვანი ქრომატოგრაფია თანამედროვე მეთოდია, რომელიც სწრაფად დაინერგა როგორც მეცნიერულ კვლევებში, ასევე ფარმაცევტული ანალიზის პრაქტიკაშიც. როგორც სახელწოდება გვიჩვენებს, მეთოდი მაღალეფექტურია, ე. ი. გამოირჩევა დიდი მგრძნობელობით, შეუძლია თვისობრივად და რაოდენობრივად განსაზღვროს 10^{-6}—10^{-8} გ ნივთიერებისა, დაყოს რთული ნარევები და მოგვცეს ქრომატოგრაფიულად სუფთა ნივთიერებები პრეპარატულადაც კი.

ქრომატოგრაფის მთავარი ნაწილებია სორბენტის კალონკა, დეტექტორი, ტუმბო და თვითჩამწერი. სორბენტები სინთეზური პო-

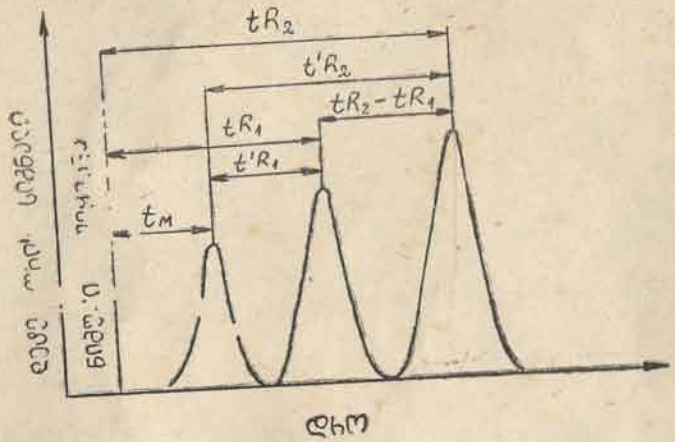
ლიმერებია დიდი აქტივობისა და ტევადობის, ქრომატოგრაფირება ხდება მაღალი წნევის (200—400/ატმ) ქვეშ, რაც განაპირობებს სწრაფ და მკვეთრ დაყოფას. თხევადი ფაზა კალონკაში მოძრაობს მაღალი წნევის ქვეშ. მის სწორ შერჩევას დიდი მნიშვნელობა აქვს დაყოფის ეფექტურობისათვის. წნევა კალონკაში რეგულირდება ტუმბოს საშუალებით. დეტექტირებისათვის გამოყენებულია ულტრაიისფერი, ფლუორომეტრიული, ელექტროქიმიური და რეფრაქტომეტრიული დეტექტორები აღნიშნული დეტექტორებით შესაძლებელია განისაზღვროს ყველა ქიმიური ნაერთი დიდი სიზუსტით. თვითჩამწერი გვაძლევს ქრომატოგრაფიულ პიკებს, რომლებიც ინდივიდუალურ ნივთიერებებს შეესაბამება. ნივთიერების იდენტიფიკაციისათვის გამოყენებულია დაკავების დრო, რომელიც წუთებში გამოისახება და გვიჩვენებს დროის შუალედს ქრომატოგრაფში სინჯის შეყვანიდან დეტექტორში გამოსვლამდე. გამოსაკვლევი ნივთიერების რაოდენობას გამოითვლიან პიკის ფართით — პლანიმეტრიულად.

37-ე ნახაზზე მოცემულია დაყოფის მახასიათებელი მნიშვნელოვანი პარამეტრები, კერძოდ: tR-დაკავების დრო (დრო-სვეტში კომპონენტის შეყვანიდან დასაყოფი ნარევის რომელიმე კონკრეტული კომპონენტის გამოსვლამდე), V_R-დაკავების მოცულობა (მოძრავი ფაზის რაოდენობა, რომელმაც გაიარა სვეტში tR დროის განმავლობაში), t_M-სვეტის მკვდარი დრო (არასორბირებადი ნივთიერების შეკავების დრო), V_M-სვეტის მკვდარი მოცულობა (სვეტში არსებული მოძრავი ფაზის მოცულობა).

სვეტში გადაადგილებისას დასაყოფი ნარევის კომპონენტები მუდმივად გადადიან მოძრავი ფაზიდან უძრავში და პირიქით. როცა ისინი მოძრავ ფაზაში იმყოფებიან, მაშინ მასთან ერთად გადაადგილდებიან U სიჩქარით, ხოლო როცა კომპონენტები სორბირდება უძრავ ფაზაში, მათი გადაადგილება წყდება. ე. ი. სვეტში ნივთიერებათა გადაადგილების საშუალო სიჩქარე იქნება ამ ორი სიჩქარის ჯამი $U_x = l/t_R$ შეკავების დრო t_R-კი შესდგება მოლეკულის მოძრავ და უძრავ ფაზებში დაყოვნების სიჩქარეებისაგან $t_R = t_M + t_R$, შეფარდება t_R1/t_M ეს არის მნიშვნელოვანი თერმოდინამიკური მა-

ხასიათებელი, რომელიც აღწერს დასაყოფი კომპონენტებისა და ქრომატოგრაფიული სისტემის (მოძრავი და უძრავი ფაზები) ურთიერთდამოკიდებულებას.

ანალიზის მაღალეფექტური ქრომატოგრაფული მეთოდის დამუშავების დროს პირველ რიგში აუცილებელია შეირჩეს ისეთი პი-



ნახ. 37.

რობები, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ დაყოფის მაღალი კოეფიციენტი, რაც მთლიანად გამორიცხავს რაიმე ურთიერთქმედებას გახსნილ ნივთიერებასა და მოძრავ ფაზას შორის. დაყოფის კოეფიციენტსა და მოცულობის კოეფიციენტზე მოქმედებს სხვადასხვა ფაქტორები, ეს ფაქტორები იწოდება თერმოდინამიკურ პარამეტრებად.

უმეტეს შემთხვევაში მხოლოდ ერთი შედგენილობის მოძრავი ფაზის გამოყენების დროს დასაყოფი ნარევის კომპონენტები ამყლავნებენ შეკავების დროის დიდ ინტერვალს. ამავე დროს, ის კომპონენტები, რომელიც პირველი ელუირდებიან, იყოფა ცუდად, მომდევნონი კი სვეტში რჩება ხანგრძლივად. ასეთ სიტუაციაში საჭირო ხდება მოძრავი ფაზის პოლარობის შეცვლა დაყოფის პროცესში იმგვარად, რომ პირველად ელუირებადი კომპონენტების მოცულობის კოეფიციენტები გაიზარდოს, შემდეგ ელუირებადის კი — შემცირდეს. მოძრავი ფაზის პოლარობის შეცვლა ხორციელდება ან ელუენტების თანმიმდევრული შეცვლით ან ელუენტის შემადგენლობის გამოცვლით. ასეთ მეთოდიკას უწოდებენ გრადიენტულ ელუირებას (როცა ელუენტის შემადგენლობა საფეხურებრივად იცვლება). ერთი და იმავე შემადგენლობის ელუენტით ელუირებას კი — იზოკრატულს.

მაღალეფექტური სითხოვანი ქრომატოგრაფული მეთოდის განვითარების მნიშვნელოვანი ეტაპია მისი შეჯერება მას სპექტრომეტრიასთან. ეს მეთოდი მოსახერხებელი იქნება პოლარული ან თერმულად უმდგრადი კომპონენტების ანალიზისათვის და მნიშვნელოვან ინფორმაციას მოგვცემს დასაყოფი კომპონენტების სტრუქტურის შესახებ უშუალოდ ანალიზის მსვლელობის პროცესში.

ლიტერატურა

1. ასათიანი ვ. — ფოტომეტრიული ქიმიური ანალიზი, თბილისი, 1962 წ.
2. ზაუტაშვილი მ. — ღვინის მჟავას ტექნოლოგიაში იონმცვლელი პოლიმერების გამოყენებისათვის, თბილისი, 1965 წ.
3. მშვიდობაძე ა., ჭუმბურიძე ბ., სარჯველაძე ო. — თბილისის სახ. სამედიცინო ინსტიტუტის შრომები, ტ. 22, 1965 წ.
4. ფირცხალავა ნ., გამსახურდია კ. — ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები, თბილისი, 1959 წ.
5. ჭუმბურიძე ბ., ზაუტაშვილი მ. — იონმცვლელი ფისების გამოყენება სახალხო მეურნეობაში. თბილისი, 1967 წ.
6. ჭუმბურიძე ბ. — იონმცვლელი პოლიმერების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების გამოკვლევა მედიცინაში გამოყენების მიზნით თბილისი, 1964 წ.
7. ჭუმბურიძე ბ. — თბილისის სახ. სამედიცინო ინსტიტუტის შრომები, 1958 წ.
8. ჭუმბურიძე ბ. — წამალთა ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები, 1970 წ.
9. Архипова А. В. и др. Практикум по фармацевтической химии, М., 1967 г.
10. Бабилев Ф. В. — Газо-жидкостная хроматография в фармацевтическом анализе. Кишинев, 1978 г.
11. Беленький Б. Г., Ганкина Э. С. — Сб. Физико-химические методы изучения, анализа и фракционирования биополимеров. 1966 г.
12. Белников В. Фармацевтическая химия. 1985 г.
13. Блок Р., Лестранж Р., Цвейг Г. — Хроматография на бумаге. М., 1954 г.
14. Вайсман Г. А. Ямпольская М. М. — Применение ионообменных адсорбентов в фармацевтическом анализе, Киев, 1959 г.
15. Иофее Б. В. — Руководство по рефрактометрии для химиков, Л., 1956 г.
16. Мшвидобадзе А. Е. — Чумбуридзе Б. И. и др. — Сб. докладов симпозиума по синтезу и анализу лекарственных препаратов, Львов, 1966 г.

17. Пиняжко Р. М. — Исследования в области использования УФ спектрофотометрии в фармацевтическом анализе. Автореферат, 1966 г.
18. Полюдек-Фабин Р., Бейрих Т. Органический анализ, Л., Химия, 1981 г.
19. Сильерстейн Р., Басслер Г. — Спектрофотометрическая идентификация органических соединений. М., Мир, 1977 г.
20. Хайс и Мацек. — Хроматография на бумаге. М., 1962 г.
21. Хефтман Э. Хроматография. М., 1986 г, т. I, 2.
22. Шемякин Ф. М. и др. Аналитическая химия, М., 1965 г.
23. Шемякин Ф. М., Мицеловский Э. С. и др. — Хроматографический анализ, М., 1965 г.
24. Шенгелидзе Н. Ш., Джорджикия М. А. и др. Определение аминокислот и органических кислот в отходах виноделия методом ТСХ. Мат. симп. Хроматографические методы в фармации. Тб., 1977 г.
25. Шингляр М. — Газовая хроматография в практике. М., 1964 г.
26. Шталь (под редакцией). — Хроматография в тонких слоях. 1965 г.
27. Чумбуридзе Б. И., Арзамасцев А. П., Чичиро В. Е. — Состояние и перспективы использования хроматографических методов в фармации. Мат. симп. Хроматографические методы в фармации. 1977 г.
28. Чумбуридзе Б. И., Мшвидобадзе А. Е., Сарджвеладзе О. В. и др. — Хроматографические методы определения наркотических веществ в биологических жидкостях. Мат. симп. Хроматографические методы в фармации. Тб., 1977 г.

სარჩევი

შესავალი . . . 3
ანალიზის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები . . . 4
ოპტიკური მეთოდები . . . 5
რეფრაქტომეტრია . . . 5
გარდატეხის მაჩვენებელი და მასზე მოქმედი ფაქტორები . . . 6
რეფრაქტომეტრების აღწერა და მათზე მუშაობის ტექნიკა . . . 8
ხვედრითი და მოლური რეფრაქცია . . . 11
რეფრაქტომეტრია, როგორც რაოდენობრივი ანალიზის მეთოდი . . . 12
ფოტომეტრია . . . 39
კოლორიმეტრია . . . 39
ფოტოკოლორიმეტრია . . . 46
სპექტროფოტომეტრია . . . 52
სპექტროფოტომეტრია ულტრაიისფერ უბანში . . . 59
სპექტროფოტომეტრია ინფრაწითელ უბანში . . . 78
მას-სპექტრომეტრია . . . 95
ბირთვულ-მაგნიტური რეზონანსი (ბრმ) . . . 107
პოლარიმეტრია . . . 112
ლუმინესცენტური ანალიზი . . . 122
ფლუორომეტრია . . . 124
ელექტრომეტრიული მეთოდები . . . 126
პოტენციომეტრია . . . 126
pH-ის განსაზღვრა პოტენციომეტრული მეთოდით . . . 128
ელექტროდები . . . 130
ბუფერული ხსნარები . . . 133
პოტენციომეტრული ტიტვრა . . . 135
pH-ის განსაზღვრა კოლორიმეტრული მეთოდით . . . 139
პოლაროგრაფია . . . 142
ამპერმეტრული ტიტვრა . . . 153
ქრომატოგრაფია . . . 154
ქრომატოგრაფია ქაღალდზე . . . 156
ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის თეორიული საფუძვლები . . . 157
ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის მეთოდები, ტექნიკა, აპარატურა . . . 161
სინჯის აღება . . . 165
გამოსაკვლევ ნივთიერებათა ქრომატოგრაფიული დაყოფა . . . 166
Rf-ის განსაზღვრა . . . 170
გამოყენების სფერო . . . 172
ქაღალდზე ქრომატოგრაფიის გამოყენება რაოდენობით ანალიზში . . . 174
ქრომატოგრამის რეაქტივები და გამომჟღავნების მეთოდები . . . 175
ქრომატოგრაფია სორბენტის თხელ ფენაზე . . . 183
სორბენტები თხელფენოვანი ქრომატოგრაფიისათვის . . . 186
გამხსნელთა სისტემები . . . 189
ტექნიკა და აპარატურა . . . 191
რეაქტივები თხელფენოვან ქრომატოგრამათა გამოსამჟღავნებლად . . . 194
ქრომატოგრაფია სორბენტთა სვეტებზე . . . 203
იონცვლითი ქრომატოგრაფია . . . 206
ქრომატოგრაფია იონმცვლელ ცელულოზებზე . . . 222
მფილტრავი გელი — სეფადექსი . . . 232
გაზური ქრომატოგრაფია . . . 238
გაზურ-სითხოვანი ქრომატოგრაფია . . . 241
მაღალეფექტური თხელფენოვანი ქრომატოგრაფია . . . 243
მაღალეფექტური სითხოვანი ქრომატოგრაფია . . . 243
ლიტერატურა . . . 247