

ც. ნაჭყეზია, ნ. აბულაძე

კოლოიდური ქიმია

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ც. ნაჭყებია, ნ. აბულაძე

კოლოიდური ქიმია



დამტკიცებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

უკუ
გადასწავლა
2007 წელს

თბილისი
2006

დამხმარე სახელმძღვანელოში განხილულია ლაბორატორიული ამოცანები კოლოიდურ ქიმიამში, რომლებიც შეესაბამება სასწავლო გეგმით გათვალისწინებულ ყველა ძირითად საკითხს.

განკუთვნილია ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ყველა სპეციალობის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი შ. ჯაფარიძე,
დოც. მ. ბაციკაძე

კოლოიდური ქიმია უდიდეს როლს თამაშობს კაცობრიობის მთელ მატერიალურ კულტურაში. თანამედროვე ცივილიზაციის და თვით ადამიანის არსებობის მატერიალური საფუძველი დაკავშირებულია კოლოიდურ სისტემასთან.

უდიდესი მნიშვნელობა აქვს კოლოიდურ-ქიმიურ კანონზომიერებებსა და კვლევის მეთოდებს ბიოლოგიის, მედიცინის, გეოლოგიის სასარგებლო წიაღისეულის გამდიდრების მეთოდების შემუშავებისათვის.

კოლოიდურ-ქიმიური კვლევის მეთოდებთან უშუალოდაა დაკავშირებული მთელი რიგი მასალების: ცემენტის, ფაიფურის, სილიკატური, კერამიკული, სამკურნალო პრეპარატების თვისებების და ტექნიკური მაჩვენებლების განსაზღვრა.

განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს კოლოიდურ-ქიმიური კვლევის მეთოდებს გარემომცველი სამყაროს დაცვისათვის და ჭუჭყიანებისაგან და მტკნარი წყლის მისაღებად.

ლაბორატორიული მეცადინეობები ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რგოლია სასწავლო-პედაგოგიურ პროცესში. აქ სტუდენტები იღებენ ექსპერიმენტული მუშაობის ჩვევებს: ხელსაწყოებსა და დანადგარებთან ურთიერთობას, ცდით მიღებული შედეგებიდან დასკვნების დამოუკიდებლად გამოტანის უნარს და ამით უფრო ღრმად და სრულად ითვისებენ შესასწავლი დისციპლინის თეორიულ მასალას.

წარმოდგენილი სახელმძღვანელო შედგენილია კოლოიდური ქიმიის კურსის სასწავლო გეგმის შესაბამისად ქიმიური და ბიოტექნოლოგიის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის. წიგნში მოცემულია ექვსი ლაბორატორიული სამუშაო. თითოეული ამოცანა გაშუქებულია ლოგიკური თანმიმდევრობით, სათანადო თეორიული მასალის გადმოცემის შემდეგ წარმოდგენილია გამზომი ხელსაწყო დანადგარების აღწერა, ცდის მსვლელობა და ექსპერიმენტული შედეგის დამუშავების მეთოდიკა.

ყოველგვარი საქმიანი შენიშვნა სიამოვნებით იქნება მიღებული და გათვალისწინებული.

I დისპერსიული სისტემა დახასიათება, მიღება და თვისებები

კოლოიდური ქიმია ერთ-ერთია იმ მეცნიერებათაგან, რომელთა სახელწოდება არ შეესაბამება საგნის შინაარსს. ბერძნულად „Kolla“-წებო, „eidos“-სახეობა. მაშასადამე, ეს არის მეცნიერება კოლოიდების ანუ წებოსმაგვარი ნივთიერებების შესახებ.

ტერმინები: კოლოიდები და კოლოიდური ქიმია შემოტანილი იქნა ინგლისელი მეცნიერის თომას გრემის მიერ, რომელმაც ნივთიერებები ორ ძირითად კლასად დაჰყო. კრისტალოიდები, რომლებიც ადვილად გამოკრისტალდებიან ნაჯერი ხსნარებიდან და კოლოიდები, რომლებიც მაღალი კონცენტრაციის პირობებში წარმოქმნიან წებოსმაგვარ ამორფულ ნალექს.

შემდგომი გამოკვლევებით დადგინდა, რომ ზოგიერთი ნივთიერება ერთ გამსხნელში ამჟღავნებს კრისტალოიდის, მეორეში კი - კოლოიდის თვისებებს. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვილაპარაკოთ არა კოლოიდურ ნივთიერებებზე, არამედ ნივთიერების კოლოიდურ მდგომარეობაზე.

კოლოიდური მდგომარეობა არის ნივთიერების მაღალდისპერსიული (ძლიერ დაწვრილმანებული) მდგომარეობა, რომელშიც ცალკეული ნაწილაკი წარმოადგენს არა მოლეკულას, არამედ დიდი ზომის აგრეგატს, რომელიც შეიცავს მოლეკულათა ძალიან დიდ რიცხვს. ამის გამო ამ ნაწილაკს შეიძლება მიეწეროს ფაზის ყველა თერმოდინამიკური თვისება. გარემო, რომელშიც განაწილებულია კოლოიდური ნაწილაკები, წარმოქმნის მეორე ფაზას. მაშასადამე, კოლოიდური ხსნარი წარმოადგენს ჰეტერო-

გენულ, უმარტივეს შემთხვევაში, ორფაზიან სისტემას. ამიტომ უფრო მართებულია ვუწოდოთ მას არა კოლოიდი, არამედ კოლოიდური სისტემა.

თანამედროვე განმარტებით კოლოიდური ქიმია არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის მაღალდისპერსიულ, ჰეტეროგენულ სისტემებს და მათში მიმდინარე ზედაპირულ მოვლენებს. ზედაპირული მოვლენები ეწოდება პროცესებს, რომლებიც მიმდინარეობს ფაზათა გამყოფ საზღვარზე ზედაპირულ შრეში.

კოლოიდური ქიმიის კვლევის ობიექტებისთვის დამახასიათებელია ორი ძირითადი ნიშანი: დისპერსიულობა და ჰეტეროგენულობა.

დისპერსიულობა (dispersio - დაშლა, დაქუცმაცება) არის რაოდენობრივი მახასიათებელი და განისაზღვრება ნაწილაკის ზომით.--- დაწვრილმანების საზომად გამოიყენება დისპერსულობის ხარისხი (D) და ხვედრითი ზედაპირი ($S_{\text{სპ}}$).

დისპერსულობის ხარისხი არის ნაწილაკის ზომის შებრუნებული სიდიდე

$$D = \frac{1}{a} \text{ სმ}^{-1} \quad a - \text{ნაწილაკის ზომა}$$

ხვედრითი ზედაპირი არის ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ფართის შეფარდება ფაზის მასასთან ან მოცულობასთან

$$S_{\text{სპ}} = \frac{S}{m} \text{ სმ}^2/\text{გ} \quad \text{ან} \quad S_{\text{სპ}} = \frac{S}{V} \text{ სმ}^2/\text{სმ}^3$$

S - ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ფართი, m და V ფაზის მასა და მოცულობა. ნაწილაკების ზომის შემცირებით (D - გაზრდით) $S_{\text{სპ}}$ იზრდება და აღწევს ასეულობით, ზოგჯერ ათასეულობით მ²/გრ.

ჰეტირობენულობა - მრავალფაზიანობა მიუთითებს სისტემაში ფაზათა გამყოფი ზედაპირის (ზედაპირული შრის) არსებობაზე და არის კოლოიდური ქიმიის კვლევის ობიექტთა თვისობრივი და ამავე დროს უნივერსალური ნიშანი, რადგან ნებისმიერი ჰეტეროგენული სისტემა შეიძლება იყოს კოლოიდური ქიმიის კვლევის ობიექტი. მხოლოდ დისპერსიულობით კი არ შეიძლება მივაკუთვნოთ სისტემა მათ რიცხვს. ჭეშმარიტი ხსნარები წარმოადგენს დისპერსიულ, მაგრამ ერთფაზიან სისტემებს, ამიტომ ისინი კოლოიდურ ქიმიაში არ შეისწავლება. ჰეტეროგენულობა განაპირობებს სისტემაში ჭარბი თავისუფალი ენერჯიის არსებობას.

დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაცია

დისპერსიული ეწოდება სისტემას, რომელშიც ერთი ფაზა დაწვრილმანებულია ამა თუ იმ ზომისა და ფორმის ნაწილაკებად და განაწილებულია მეორე ფაზაში. ფაზას, რომელიც დაწვრილმანებულია, დისპერსული ფაზა ეწოდება, ხოლო ფაზას, რომელშიც განაწილებულია ეს ნაწილაკები, სადისპერსიო არე ან გარემო ეწოდება. დისპერსიული ფაზა წყვეტილია, არე კი - უწყვეტი.

დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაციას ახდენენ სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. ფაზისა და არის აგრეგატული მდგომარეობის გათვალისწინებით არსებობს დისპერსიული სისტემების ცხრა ჯგუფი.

ფაზისა და არის მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების მიხედვით არსებობს ლიოფილური და ლიოფობური დისპერ-

სიული სისტემები. ლიოფილური (lio - გახსნა; phileo - სიყვარული) დისპერსიული სისტემები წარმოიქმნებიან თავისთავად, დისპერსული ფაზის ზედაპირთან სადისპერსიო არის მოლეკულების ინტენსიური ურთიერთქმედების გამო.

ლიოფობურია (fobi - სიძულვილი) დისპერსიული სისტემები, რომლებშიც ურთიერთქმედება ფაზისა და არის მოლეკულებს შორის იმდენად სუსტია, რომ თავისთავადი დისპერგირება არ ხდება. მათ მისაღებად საჭიროა გარკვეული მუშაობის შესრულება. სადისპერსიო გარემოდ წყლის გამოყენების შემთხვევაში იხმარება ცნებები: ჰიდროფილური და ჰიდროფობური დისპერსიული სისტემები.

დისპერსული ფაზის კინეტიკური თვისებების მიხედვით არსებობს თავისუფალდისპერსიული და ბმული დისპერსიული სისტემები. თავისუფალდისპერსიულ სისტემაში ფაზის ნაწილაკები მოძრაობს და ადვილად გადაადგილდებიან სადისპერსიო არეში (ზოლები, სუსპენზიები, ემულსიები), ბმულ დისპერსიულ სისტემებში ფაზის ნაწილაკების გადაადგილება შეუძლებელია იმის გამო, რომ ნაწილაკებს შორის ადგილი აქვს სტრუქტურული ბადის წარმოქმნას ან სადისპერსიო არე არის მყარი (მემბრანები, გელები, ლაბები, ქაფები, მყარი ხსნარები).

თავისუფალდისპერსიული სისტემები ნაწილაკების ზომის ანუ დისპერსიულობის ხარისხის მიხედვით იყოფა:

ჭეშმარიტი ხსნარები ანუ მოლეკულურად და იონურად დისპერსირებული სისტემები, რომელშიც ნაწილაკის ზომა არის 0,1 ნმ (10^{-8} მ) ეს სისტემები (ჰომოგენური) ერთფაზიანია. (1 ნანომეტრი ტოლია 10^{-7} მ).

ულტრამიკროჰეტეროგენული სისტემები ანუ კოლოიდურად დისპერსირებული სისტემები, რომელშიც ნაწილა-

კების ზომა არის 10^2-10^5 სმ (1 - 100 ნმ). ამ სისტემებს ეწოდება საკუთრივ კოლოიდური სისტემები ან ზოლები. სადისპერსიო არის მიხედვით არსებობს: ჰიდროზოლები (არეა - წყალი), ორგანოზოლები (ორგანული გამხსნელების შემთხვევაში), აეროზოლები (აირადი სადისპერსიო არით) და ა.შ.

მიკროჰეტეროგენული სისტემები - (სუსპენზიები, ემულსიები, ფხვნილები, ქაფები), რომელშიც ნაწილაკების ზომაა $10^5 - 10^3$ სმ (0,1 მკმ - 10 მკმ). 1 მიკრომეტრი = 10^4 სმ.

უხემდისპერსიული სისტემები - ქეიშა, ხრეში, სადაც ნაწილაკების ზომა 10^3 სმ-ზე მეტია.

ერთნაირი ზომის ნაწილაკების შემცველ სისტემებს მონოდისპერსიული, ხოლო სხვადასხვა ზომის შემცველს - პოლიდისპერსიული სისტემები ეწოდება.

ნაწილაკების ზომის ზრდა იწვევს თვისებათა ცვლას დისპერსიულ სისტემებში.

ჭეშმარიტი ხსნარებისაგან განსხვავებით, კოლოიდური სისტემები განაბნევენ სინათლის სხივს, კოლოიდური ნაწილაკების დიფუზია მათი დიდი ზომის გამო ნელა მიმდინარეობს, მათ ახასიათებთ მცირე ოსმოსური წნევა, გააჩნიათ დიალიზის უნარი (არ გადიან ნახევრადგამტარ ტიხარში), წარმოადგენენ აგრეგატულად უმდგრად სისტემებს.

კოლოიდური სისტემების მიღება

ნაწილაკების ზომის მიხედვით კოლოიდურ სისტემებს შუალედური ადგილი უჭირავს ჭეშმარიტ ხსნარებსა (ჰომოგენური სისტემები) და მიკროჰეტეროგენულ სისტემებს

(სუსპენზია, ემულსიები) შორის. ამიტომ მათი მიღება შეიძლება ორი ძირითადი მეთოდით: დისპერგირებით და კონდენსაციით. დისპერგირება არის დიდი ნაწილაკების დაწვრილმანება უფრო მცირე ზომის ნაწილაკებად. კონდენსაცია კი - ერთფაზიანი სისტემებისაგან მოლეკულების, ატომების და იონების აგრეგატებად ასოციაციის შედეგად ზოლების (ჰეტეროგენული სისტემების) წარმოქმნა.

დისპერგირების მეთოდით ზოლების მიღება ხდება სუსპენზიებისა და ემულსიებისაგან მექანიკური მოწყობილობის გამოყენებით (კოლოიდური წისქვილები, ულტრაბგერითი და ელექტრული მეთოდები). ამ მეთოდით ძალიან მაღალი დისპერსულობის მიღწევა არ ხერხდება, ამიტომ უპირატესობა აქვს კონდენსაციის მეთოდს.

კონდენსაციის მეთოდით შეიძლება მიღებულ იქნას ნებისმიერი დისპერსულობის ზოლი ცდის პირობების შერჩევის შესაბამისად.

არსებობს ფიზიკური და ქიმიური კონდენსაციის მეთოდები. ფიზიკური კონდენსაცია შეიძლება მოხდეს ორთქლის კონდენსაციით და გამხსნელის შეცვლით: ორთქლის კონდენსაციის თვალსაჩინო მაგალითია ნისლის წარმოქმნა.

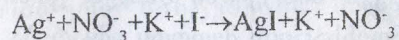
გამხსნელის შეცვლის მეთოდი დაფუძნებულია სისტემის პარამეტრების ისეთ ცვლილებაზე, რომლის დროსაც კომპონენტების ქიმიური პოტენციალი სადისპერსიო არეში ხდება წონასწორულზე მეტი და წონასწორობისკენ სწრაფვის ტენდენცია იწვევს სისტემაში ახალი ფაზის წარმოქმნას.

ქიმიური კონდენსაციის მეთოდი ემყარება გადაჯერებული ხსნარიდან ახალი ფაზის წარმოქმნას, ოღონდ, ნივთიერება, რომელიც წარმოქმნის ახალ ფაზას, მიიღება ქიმიური რეაქციის საფუძველზე. კოლოიდური სისტემის მისაღებად

გამოდგება ნებისმიერი რეაქცია, რომელიც მიმდინარეობს ახალი ფაზის წარმოქმნით (დაჟანგვის, აღდგენის, მიმოცვლის, ჰიდროლიზის რეაქციები).

ზოლების ნებისმიერი მეთოდით მიღებისას აუცილებელია დაცული იქნას ორი ძირითადი პირობა: 1) ნივთიერება, რომლის ზოლის მიღება გვინდა, არ უნდა იხსნებოდეს ან მცირედ იხსნებოდეს სადისპერსიო არეში და 2) აგრეგატულად მდგრადი ზოლის მისაღებად საჭიროა სისტემაში არსებობდეს ნივთიერება, რომელიც იწვევს წარმოქმნილი ფაზის ნაწილაკების სტაბილიზაციას, ამ ნივთიერებას სტაბილიზატორი ეწოდება. სტაბილიზატორი შეიძლება იყოს როგორც სპეციალურად გარედან შეტანილი ნივთიერება სისტემაში, ისე რეაქციის რომელიმე რეაგენტი ან პროდუქტი. სტაბილიზატორები, თავიანთი ბუნებიდან გამომდინარე, ზოლების სტაბილიზაციას იწვევენ სხვადასხვა მექანიზმით. სტაბილიზატორად ელექტროლიტის გამოყენების დროს ხდება დისპერსული ფაზისა და არის საზღვარზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნა, ნაწილაკები იმუხტება ერთნაირი ნიშნით, რაც უზრუნველყოფს მათ შორის ელექტროსტატიკურ განზიდვას და, შესაბამისად, ზოლის აგრეგატულ მდგრადობას.

განვიხილოთ AgI-ის ჰიდროზოლის მიღება ქიმიური კონდენსაციის მეთოდით მიმოცვლის რეაქციის საფუძველზე. რეაქცია მიმდინარეობს წყალხსნარებს შორის.

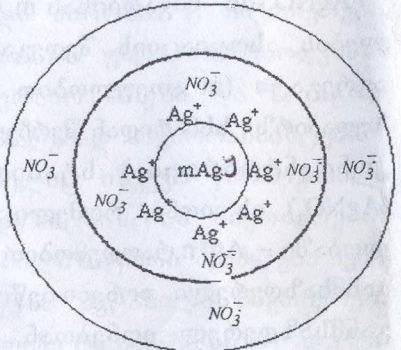
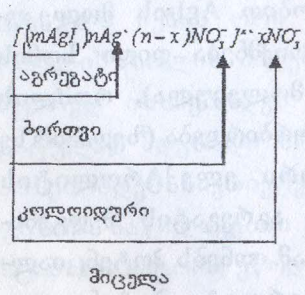


AgI წყალში უხსნადი ნივთიერებაა, ამიტომ რეაქციის შედეგად ის გამოიყოფა მეორე ფაზის სახით. (ზოლების მიღების პირველი პირობა დაცულია). კოლოიდური დისპერსულობის შენარჩუნების მიზნით საჭიროა

სტაბილიზატორის გამოყენება. სტაბილიზატორად შეიძლება გამოდგეს ორივე რეაგენტი (AgNO_3 , KI), თუ ერთს ან მეორეს ავიღებთ ჭარბი რაოდენობით. ექვივალენტური რაოდენობით ხსნარების შერევისას მიიღება AgI ნალექის სახით.

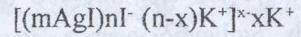
AgNO_3 -ის სიჭარბისას m რაოდენობით AgI-ის მოლეკულების ასოციაციის შედეგად წარმოიქმნება დიდი ზომის აგრეგატი (m ათეულობით ათასი მოლეკულა), რომლის ზედაპირზე ხსნარიდან შერჩევით აღსორბირდება (ზედაპირზე კონცენტრირდება) სტაბილიზატორი ელექტროლიტის (AgNO_3) ის იონი, რომელიც შედის აგრეგატის შედგენილობაში – Ag^+ იონი რაოდენობით ($n \ll m$). ამ იონებს პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები ეწოდება. აგრეგატი პოტენციალგანმსაზღვრელ იონებთან ერთად წარმოქმნის ბირთვის, რომელსაც აქვს დადებითი მუხტი. ბირთვი ელექტროსტატიკური ძალებით ხსნარიდან მიიზიდავს საწინააღმდეგო ნიშნის NO_3^- იონებს n რაოდენობით, მათ საწინააღმდეგო იონები ეწოდება. საწინააღმდეგო იონების გარკვეული ($n-x$) რაოდენობა ელექტროსტატიკური ძალების გარდა მიიზიდება მეორე – სპეციფიკური ადსორბციული (ვან-დერ-ვაალსის) ძალებით ბირთვთან უშუალოდ ახლოს და წარმოქმნის ე.წ. ადსორბციულ შრეს. ადსორბციული შრის იონები იწვევენ ბირთვის მუხტის ნაწილობრივ კომპენსაციას. ბირთვის ადსორბციულ შრესთან ერთად კოლოიდური ნაწილაკი ეწოდება. ნაწილაკს აქვს დადებითი მუხტი. საწინააღმდეგო იონების (NO_3^-) დანარჩენი x რაოდენობა თბური მოძრაობის გამო იმყოფება ბირთვისგან მოშორებით დიფუზიურ შრეში, მიიზიდება ბირთვის მიერ მხოლოდ ელექტროსტატიკური ძალებით, მათ შეუძლიათ თავისუფალი გადაადგილება სითხეში. ნაწილაკს დიფუზიურ შრესთან ერთად მიცემა

ეწოდება. მიცელა ელექტრონიტრალურია – არ გააჩნია მუხტი, რადგან მასში დადებითი და უარყოფითი მუხტების რაოდენობა თანაბარია. მიცელის აგებულება შეიძლება ასე გამოვსახოთ:



ნახ. 1 მიცელა

სტაბილიზატორად KI-ის გამოყენების შემთხვევაში, კოლოიდურ ნაწილაკს ექნება უარყოფითი მუხტი, რადგან პოტენციალგანმსაზღვრელი იონების როლს შეასრულებს I⁻ იონები, საწინააღმდეგო იონების როლს კი – K⁺ იონები. მიცელის სტრუქტურა ამ შემთხვევაში ასე გამოისახება:



ზოგადად, კოლოიდური ნაწილაკის მუხტს განსაზღვრავს პოტენციალგანმსაზღვრელი იონების მუხტი.

ნებისმიერი მეთოდით მიღებული ზოლი საჭიროებს გაწმენდას დაბალმოლეკულური მინარევების, განსაკუთრებით, ელექტროლიტებისაგან, რომლებიც იწვევენ ზოლის ასტაბილიზაციას – აგრეგატული მდგრადობის შემცირებას.

გაწმენდის მეთოდებიდან უმეტესად გავრცელებულია დიალიზი-ტიხრით შეზრდული დიფუზია. დიალიზისთვის

გამოიყენება ხელსაწყო, რომელსაც დიალიზატორი ეწოდება. უმარტივესი დიალიზატორი წარმოადგენს ნახევრადგამტარი მემბრანისაგან დამზადებულ პარკს, რომელშიც ათავსებენ გასაწმენდ ზოლს. პარკი ჩაშვებულია დიდი ზომის ტურჭელში, რომელშიც ასხია სუფთა საღისპერსიო გარემო. მემბრანა ატარებს დაბალმოლეკულურ მინარევებს და არ ატარებს კოლოიდურ ნაწილაკებს. დიფუზიის შედეგად ყველა გახსნილი ნივთიერება გადადის გამხსნელში. გამხსნელის ხშირი გამოცვლით ხდება ზოლის სრული გაწმენდა მინარევებისაგან. დიალიზი საკმაოდ ხანგრძლივი პროცესია, მისი დაჩქარება შესაძლებელია ტემპერატურის გაზრდით, დიფუზიის სიჩქარის გაზრდის გამო.

ექსპერიმენტული ნაწილი

ზოლების მიღება კონდენსაციის მეთოდით

1. გამხსნელის შეცვლის მეთოდით გოგირდისა და კოლოფონის ზოლების მიღება.

გოგირდი და კოლოფონი იხსნება სპირტში და იძლევა ჭეშმარიტ ხსნარს. წყალში ეს ნივთიერებები პრაქტიკულად უხსნადია, ამიტომ მათ სპირტხსნარებზე წყლის დამატებისას გოგირდის და კოლოფონის მოლეკულები კონდენსირდებიან უფრო დიდ აგრეგატებად.

გოგირდის ნაჯერ სპირტხსნარს წვეთ-წვეთობით ამატებენ დიდი რაოდენობით გამოხდილ წყალში. განუწყვეტელი ნჯღრევის პირობებში მიიღება მოთეთრო-რძისფერი გოგირდის ჰიდროზოლი.

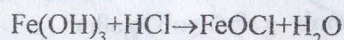
0,5 მლ 2%-იან კოლოფონის სპირტსხნარს ამატებენ 10 მლ გამოხდილ წყალს და შეანჯღრევენ. მიიღებენ მოთეთრო-რძისფერ ზოლს.

2. რკინის ჰიდროჟანგის ზოლის მიღება ჰიდროლიზის გზით

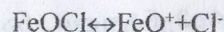
რკინის ჰიდროჟანგის მიღების რეაქცია ასე მიმდინარეობს

$$\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$$

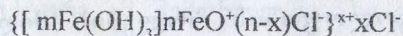
აგრეგატის $(\text{Fe}(\text{OH})_3)_m$ ზედაპირული მოლეკულები შედიან რეაქციაში HCl-თან



FeOCl-ის მოლეკულები დისოცირდებიან FeO^+ და Cl^- იონებად.



აგრეგატის ზედაპირზე ხსნარიდან აღსორბირდებიან FeO^+ იონები და აძლევენ მას დადებით მუხტს. საწინააღმდეგო ნიშნის Cl^- იონები კი განაწილდებიან თხევად ფაზაში. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -ის ზოლის მიცვლას ასეთი სახე აქვს:

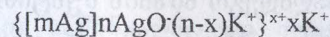


სინჯარაში ასხამენ 1 მლ 2%-იან FeCl_3 -ის ხსნარს და 10 მლ გამოხდილ წყალს, აურევენ და გააცხელებენ ადუღებამდე. მიიღება მუქი წითელი, სრულიად გამჭვირვალე რკინის ჰიდროჟანგის ზოლი.

100 მლ გამოხდილ წყალს აცხელებენ ადუღებამდე, მღუღარე წყალს წვეთ-წვეთობით უმატებენ 5-10 მლ. FeCl_3 -ის 2%-იან ხსნარს. მიიღება ინტენსიური შეფერილობის მოწითალო-ყავისფერი $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -ის ზოლი.

3 ვერცხლის ზოლის მიღება აღდგენის რეაქციით

10 მლ. 0,001 N AgNO_3 -ის ხნარს უმატებენ 3-4 წვეთ ახალ მომზადებულ 0,1%-იან ტანიინისა და 1-2 წვეთ 1%-იან K_2CO_3 -ის ხსნარებს. გაცხელებისას მიიღება მოყავისფრო-წითელი ვერცხლის ჰიდროზოლი, რომლის მიცვლა ასე გამოისახება:



II. კოლოიდური სისტემების ელექტრული თვისებები

დისპერსიულ სისტემებში დამუხტული ნაწილაკებისა და ძლიერ განვითარებული ფაზათა გამყოფი ზედაპირის არსებობა განაპირობებს მათ ელექტრულ თვისებებს. ელექტრული თვისებების შესწავლა წარმოადგენს ძირითად ფუნდამენტს კოლოიდური სისტემების მდგრადობისა და კოაგულაციის მოვლენების ახსნის თვალსაზრისით. ფაზათა შორის ელექტრული მოვლენები განსაზღვრავენ იონმი-მოცვლითი აღსორბციის და ელექტროკინეტიკურ მოვლენებს, ელექტროდულ, კატალიზურ, მემბრანულ და ბიოლოგიურ პროცესებს.

დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებზე მუხტის არსებობა პირველად შემჩნეული იქნა მოსკოვის უნივერსიტეტის პროფესორის - რეისის მიერ 1808 წ. მაგრამ მუხტის არსებობის მიზეზი ხანგრძლივი დროის მანძილზე რჩებოდა აუხსნელი.

თანამედროვე შეხედულებით მუხტის არსებობა დისპერსული ფაზის ზედაპირზე განპირობებულია ორმაგი ელექტ-

რული შრის არსებობით ფაზათა გამყოფ საზღვარზე. პეტროლოგენული სისტემის სწრაფვა თავისუფალი ზედაპირული ენერჯიის შემცირებისკენ იწვევს პოლარული მოლეკულების, იონების და ელექტრონების იმგვარ ორიენტაციას ზედაპირულ შრეში, რომ შემხები ფაზები იმუხტება სიდიდით ტოლი და საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტით. ასე წარმოიქმნება ორმაგი ელექტრული შრე (ოეშ) გარკვეული პოტენციალით, მუხტის სიმკვრივით და სხვა პარამეტრებით.

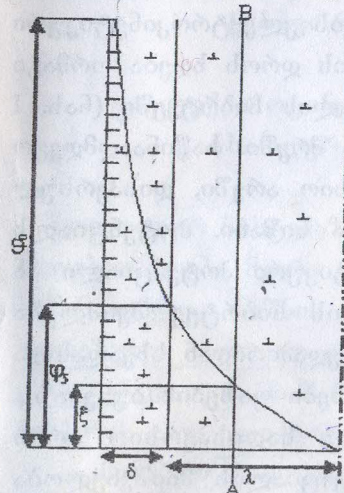
კოლოიდური ნაწილაკების ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნა ხდება ორი მექანიზმით: 1 - სადისპერსიო გარემოდან დისპერსული ფაზის ზედაპირზე იონთა შერჩევითი ადსორბციის შედეგად, 2 - დისპერსული ფაზის ზედაპირული მოლეკულების დისოციაციით. პირველი მექანიზმით ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნა ჩვენ უკვე განვიხილეთ AgI-ის ზოლის მიღების შემთხვევაში.

მყარი ფაზის ზედაპირული მოლეკულების დისოციაციის შედეგად ოეშ წარმოიქმნება, თუ AgI-ის კრისტალს მოვათავსებთ წყალში. Ag^+ იონები, მათი ჰიდრატაციის მეტი უნარის გამო, გადადიან წყლის ფაზაში და მუხტავენ მას დადებითად. თავისუფალი I⁻ იონების გამო კრისტალის ზედაპირი იმუხტება უარყოფითად. ამგვარად, მყარი და თხევადი ფაზები იმუხტებიან საპირისპირო ნიშნით ანუ ფაზათა გამყოფ საზღვარზე წარმოიქმნება ორმაგი ელექტრული შრე, რომლის აღნაგობას დიდი მნიშვნელობა აქვს ზედაპირული მოვლენების ახსნის თვალსაზრისით.

ორმაგი ელექტრული შრის აღნაგობის რამდენიმე თეორია არსებობს. ყველაათვის საერთოა ის შეხედულება, რომ პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები მჭიდროდაა დაკავშირებული მყარი ფაზის ზედაპირთან და ქმნიან ორმაგი შრის

შიგა შემონაფენს. ეს იონები განსაზღვრავენ ზედაპირული მუხტისა და პოტენციალის სიდიდეს და ნიშანს. განსხვავება ამ თეორიებს შორის არის განსხვავებული შეხედულება თხევად ფაზაში განლაგებული საწინააღმდეგო იონების სტრუქტურის შესახებ.

ორმაგი ელექტრული შრის თანამედროვე თეორიის თანახმად (შტერნი) საწინააღმდეგო იონების შრე იყოფა ორ ნაწილად: ერთი ნაწილი იმყოფება მყარ ფაზასთან უშუალოდ ახლოს, მას ადსორბციული ანუ მკვრივი შრე ეწოდება. მეორე ნაწილი იმყოფება მყარი ფაზის ზედაპირიდან მოშორებით, მას დიფუზიური შრე ეწოდება. ადსორბციულ შრეში საწინააღმდეგო იონები მყარი ფაზის ზედაპირის მიერ მიიზიდებიან ელექტროსტატიკური (კულონის) ძალით და ახლო მანძილზე მოქმედი სპეციფიკური ადსორბციული (ვან-დერ-ვაალსის) ძალებით. დიფუზიური შრის იონები თბური მოძრაობის გამო იმყოფებიან



ნახ. 1. ოეშ. აღნაგობა და მასში პოტენციალის ვარდნა

მოშორებით და მიიზიდებიან მხოლოდ კულონის ძალით.

ორმაგი ელექტრული შრის აღნაგობა და მასში პოტენციალის ვარდნა მოცემულია ნახაზზე იმ შემთხვევისათვის, როცა პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები უარყოფითია.

მკვრივ შრეში, რომლის სისქეა δ , პოტენციალის მნიშვნელობა ზედაპირიდან დაშორებით მცირდება ხაზოვნად, დიფუზურ შრეში (λ - შრის სისქე)

პოტენციული მცირდება თანდათანობით, თბური მოძრაობის შედეგად იონთა არათანაბარი განაწილების გამო.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, პოტენციალის (ფ₀) სრული ვარდნა ორმაგ ელექტრულ შრეში ჯამდება პოტენციალთა სხვაობისგან მკვრივ შრეში (ფ₀-ფ_გ) და პოტენციალის ვარდნისგან დიფუზიურ შრეში (ფ_გ). პოტენციალს (ფ₀) მყარი და თხევადი ფაზის საზღვარზე თერმოდინამიკური პოტენციალი ეწოდება.

მუდმივ ელექტრულ ველში სისტემის მოთავსებისას ადგილი აქვს მყარი და თხევადი ფაზების ურთიერთგადაადგილებას. ელექტრული ველის გავლენით დისპერსული ფაზის გადაადგილებას სადისპერსიო გარემოს მიმართ ელექტროფორეზი ეწოდება, ხოლო სადისპერსიო გარემოს გადაადგილებას ფორებიან ან კაპილარულ სხეულებში – ელექტროოსმოსი.

ზოგადად, ელექტრული ველის გავლენით ფაზების ურთიერთგადაადგილების პროცესებს ელექტროკინეტიკური მოვლენები ეწოდება. ამ მოვლენების დროს ხდება ორმაგი ელექტრული შრის გახლეჩვა სრიალის სიბრტყეში (ნახ. 1 AB), რომელიც გადის დიფუზიურ შრეში. საწინააღმდეგო იონების ნაწილი რჩება სადისპერსიო არეში, დისპერსულ ფაზას და არეს აქვს სხვადასხვა ნიშანი. პოტენციალს სრიალის სიბრტყეში ელექტროკინეტიკური პოტენციალი ან ჯ პოტენციალი ეწოდება. სრიალის სიბრტყე შეიძლება მდებარეობდეს ფაზათა გამყოფი ზედაპირიდან სხვადასხვა მანძილზე, ეს დამოკიდებულია შემხები ფაზების ბუნებაზე, მათი გადაადგილების სიჩქარეზე, სადისპერსიო არის სიბლანტეზე. შესაბამისად ჯ პოტენციალის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ყველა ამ ფაქტორზე. სრიალის სიბრტყის

ერთი და იგივე ადგილზე მდებარეობისას ჯ მნიშვნელობა იცვლება დიფუზიური შრის სისქის (λ) ცვლილებით. ტემპერატურის შემცირებით, სისტემაში ინდიფერენტული ელექტროლიტის შეტანით, იონთა ვალენტობისა და სისტემის კონცენტრაციის გაზრდით მცირდება ჯ პოტენციალი, რადგან ყველა ეს ფაქტორი ამცირებს დიფუზიური შრის სისქეს.

ჯ პოტენციალი ოვე ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია, რომელიც ერთმნიშვნელოვნად ახასიათებს ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ელექტრულ თვისებებს. ფაზების შედგენილობისა და ელექტროლიტის კონცენტრაციისაგან დამოკიდებულებით იგი აღწევს ერთეულ ან ათეულობით მილივოლტს.

ელექტროკინეტიკური პოტენციალის სიდიდე და ნიშანი შეიძლება განისაზღვროს ელექტროფორეზული და ელექტროოსმოსური მეთოდებით.

ექსპერიმენტული ნაწილი

ელექტროკინეტიკური პოტენციალის განსაზღვრა ელექტროფორეზით

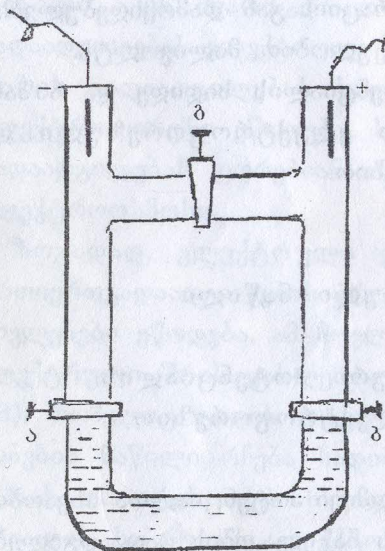
კოლოიდურ სისტემაზე მუდმივი პოტენციალთა სხვაობის მოდებით ხდება მყარი ფაზის ნაწილაკების გადაადგილება საწინააღმდეგო ნიშნის ელექტროდისკენ. ამიტომ ელექტროფორეზული მეთოდით თვისობრივად შეიძლება დავადგინოთ ჯ პოტენციალის ნიშანი. ნაწილაკების გადაადგილების სიჩქარის ანუ ელექტროფორეზული ძვრადობის გაზომვით კი განვსაზღვროთ იგი რაოდენობრივად. უმარტივესი განტოლება, რომელიც აკავშირებს ჯ პოტენციალს სადის-

პერსიო გარემოს და გარე ელექტრული ველის მახასიათებელ პარამეტრებთან ასე გამოისახება:

$$\xi = \frac{4\pi\eta U}{D}, \quad (1)$$

სადაც η – სადისპერსიო გარემოს სიბლანტე, D – დიელექტრიკული მუდმივა, U – ელექტროფორეზული ძვრადობა.

ელექტროფორეზზე დაკვირვებისათვის გამოიყენება ხელსაწყო, რომელიც წარმოადგენს U – მაგვარ მილს,



ნახ. 2. ხელსაწყო ელექტროფორეზისათვის

რომლის ორივე მუხლში ჩადგმულია ა და ბ ონკანები (ნახ. 2.), რომელთა ნახვრეტის დიამეტრი მილის დიამეტრის ტოლია. ონკანებს ხვეით მილი დაკალიბრებულია ან მიკროულია მასზე ქაღალდი მილიმეტრებიანი დანაყოფებით. მუხლები შეერთებულია ონკანიანი (გ) მილის ხიდით.

ცდის დაწყებამდე ხელსაწყოს კარგად გამორეცხავენ ქრომის ნახავით და გამოხდილი წყლით. შემდეგ გამოიღებენ ა და ბ ონკანებს,

გაამშრალევენ და წაუსვამენ ვაზელინს. წინასწარ მომზადებულ ზოლს ხელსაწყოში ჩაასხამენ ისე, რომ სითხის დონე ასცდეს ა და ბ ონკანებს. ამის შემდეგ ონკანებს კეტავენ, ზედმეტ ზოლს გადმოასხამენ, ორივე მუხლს კარგად

გამორეცხავენ და შეავსებენ გვერდითი სითხით, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება კოლოიდური ხსნარის კონტაქტი ელექტროდებთან. ზოლსა და გვერდით სითხეს შორის მთელი ცდის განმავლობაში მკვეთრი საზღვრის წარმოქმნისათვის, აუცილებელია გვერდითი სითხის ელგამტარობა ტოლი ან ცოტათი მეტი იყოს ზოლის ელგამტარობაზე. ამ მიზნით, ყველაზე კარგი შედეგი მიიღება გვერდით სითხედ ზოლის ულტრაფილტრატის გამოყენებისას.)

გვერდითი სითხით ხელსაწყოს შევსების შემდეგ, ორივე მუხლში ჩაუშვებენ სპილენძის ელექტროდებს. ცდის დაწყებამდე, ხსნიან გ ონკანს, ორივე მუხლში გვერდითი სითხის დონის გათანაბრების მიზნით, ისევე კეტავენ და ხელსაწყოს აერთებენ მუდმივი დენის წყაროსთან. ამის შემდეგ გახსნიან ა და ბ ონკანებს და როგორც კი შეფერილი ზოლის საზღვარი მიაღწევს სკალაზე ნულოვან დანაყოფს, ჩართავენ წამმზომს და აითვლიან დროს, რომლის განმავლობაში შეფერილი საზღვარი გადაადგილდება 5-10 მმ-ზე. ანათვალს იღებენ 5-6 ჯერ და გამოითვლიან საშუალო მნიშვნელობას.

აიღებენ ვოლტმეტრზე ძაბვის მნიშვნელობას, რომელიც მოდებულია ელექტროდებზე, დრეკადი მავთულით გაზომავენ მანძილს ელექტროდებს შორის (l) და გამოთვლიან პოტენციალის გრადიენტს (H).

$$H = \frac{V_{\text{ვოლტი}}}{l_{\text{სმ}}} = \frac{V}{300l} \text{ ელ. სტ. ერთეული (CGS)...} \quad (2)$$

თუ S არის მანძილი (5-10 მმ), რომელზეც შეფერილი საზღვარი გადაადგილდა τ დროში, მაშინ ელექტროფორეზული ძვრადობა

$$U = S/tH \dots (3)$$

U-ს მნიშვნელობის მიხედვით გამოთვლიან ξ პოტენციალს (1) ფორმულით. წყლისთვის $D=81$; $\eta=0,01$ პუაზს ($t=20^{\circ}\text{C}$ -ზე). ხშირად ξ პოტენციალს გამოსახავენ ვოლტებში.

$$\xi = \frac{4\pi\eta U}{D} \cdot 300^2 \text{ ვოლტი}$$

III დისპერსიული სისტემების მოლეკულურ-კინეტიკური თვისებები

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია სწავლობს მოლეკულების თავისთავადი მოძრაობის კანონებს. სწორედ ასეთი მოძრაობითაა განპირობებული ხსნარების ზოგიერთი თვისება, რომლებიც დამოკიდებულია არა შედგენილობაზე, არამედ მოძრავი-კინეტიკური ერთეულების (მოლეკულების, იონების) რიცხვზე ხსნარის მოცულობის ან მასის ერთეულში. ასეთ კოლიგატიურ თვისებებს მიეკუთვნება: დიფუზია, ოსმოსური წნევა, ხსნარის ორთქლის წნევა და ა.შ.

კოლოიდურ ნაწილაკებზე უშუალო ექსპერიმენტული დაკვირვებით დადგენილი იქნა, რომ კოლოიდური ხსნარები თვისობრივად არ განსხვავდება ჭეშმარიტი ხსნარებისაგან, ხოლო რაოდენობრივად ეს თვისებები მცირდება ნაწილაკების ზომის ზრდის შესაბამისად.

სედიმენტაცია და სედიმენტაციური ანალიზი

თავისუფალდისპერსიულ სისტემებში დისპერსიული ფაზის ნაწილაკები გადაადგილდებიან სადისპერსიო გარემოს მთელ მოცულობაში.

ნაწილაკების დაღეჟვას სიმძიმის ძალის გავლენით სედიმენტაცია ეწოდება. სედიმენტაცია დამახასიათებელია მიკროჰეტეროგენული სისტემებისათვის (სუსპენზიები, ემულსიები, აეროზოლები).

სითხეში თითოეულ ნაწილაკზე მოქმედი სედიმენტაციის გამომწვევი ძალა არქიმედის კანონის გათვალისწინებით ასე გამოისახება:

$$F_{\text{sed}} = V(\rho - \rho_0)g \dots (1)$$

სადაც V - ნაწილაკის მოცულობა; ρ და ρ_0 - ნაწილაკის და სადისპერსიო გარემოს სიმკვრივე, g - სიმძიმის ძალის აჩქარება ($g=9,8\text{მ/წმ}^2$). როცა $\rho > \rho_0$ ნაწილაკი იღეჟება; როცა $\rho < \rho_0$ ნაწილაკი ტივტივებს სითხის ზედაპირზე, ანუ ადგილი აქვს უარყოფით სედიმენტაციას.

ნაწილაკების მოძრაობისას თხევად ან აირად გარემოში აღიძვრება შემხვედრი წინააღმდეგობა გარემოს ხახუნის ძალის სახით, რომელიც, სტოქსის კანონის თანახმად, ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის (U) პროპორციულია:

$$F_{\text{ხხ}} = 6\pi\eta rU \dots (2)$$

სადაც r - ნაწილაკის რადიუსია; η - სადისპერსიო არის სიბლანტე.

თუ ნაწილაკი ისეთი ზომისაა, რომ ის მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით, მაშინ მასზე მოქმედ სიმძიმის ძალას აწონასწორებს გარემოს ხახუნის ძალა და

$$F_{\text{სედ}} = F_{\text{ხხ}} \text{ ან } V(\rho - \rho_0)g = 6\pi\eta rU$$

საიდანაც დალექვის ანუ სედიმენტაციის სიჩქარე სფერული ფორმის ნაწილაკებისათვის

$$U = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho - \rho_0)}{\eta} g \dots \quad (3)$$

საიდანაც

$$r = \sqrt{\frac{9\eta u}{2(\rho - \rho_0)g}} \quad (4)$$

ან

$$r = K\sqrt{U} \quad (5)$$

$$K = \sqrt{\frac{9\eta}{2(\rho - \rho_0)g}}$$

K - მუდმივია, რადგან მოცემული დისპერსიული სისტემისათვის η , ρ და ρ_0 მუდმივი სიდიდეებია.

ნაწილაკის დალექვის სიჩქარე

$$U = H/\tau \quad (6)$$

სადაც H - არის სუსპენზიის სვეტის სიმაღლე ანუ ნაწილაკის მიერ განვლილი მანძილი τ დროში.

(5) განტოლება საფუძვლად უდევს სედიმენტაციური ანალიზის მეთოდს, რომელიც გულისხმობს, სუსპენზიაში ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის ექსპერიმენტულად განსაზღვრის საფუძველზე, ნაწილაკების ზომის დადგენას და ზომების მიხედვით მათი განაწილების დახასიათებას. ამ მეთოდს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგან დისპერსულობა განსაზღვრავს მრავალი სამრეწველო მასალის (ცემენტი, ქვიშა, ბეტონი...) საწარმოო მაჩვენებლებს.

მონოდისპერსიულ სუსპენზიებში ყველა ნაწილაკი მოძრაობს ერთნაირი სიჩქარით. ამის გამო დალექვის პროცესში ჩნდება მკვეთრი საზღვარი სუსპენზიასა და სუფთა,

გამჭვირვალე სადისპერსიო არეს შორის. საზღვარი თანდათან იწვევს ქვევით და მისი გადაადგილების დროის გაზომვით (მაგალითად, საზომ ცილინდრში) შეიძლება განისაზღვროს ნაწილაკების დალექვის სიჩქარე. სიჩქარის მიხედვით კი - რადიუსი.

რეალური სისტემები პოლიდისპერსიულია, მათში ნაწილაკების დალექვის სიჩქარე განსხვავებულია. მსხვილი ნაწილაკები ილექება უფრო ჩქარა, მცირე ზომის ნაწილაკები ჩამორჩებიან და ამის გამო მკვეთრი საზღვარი სადისპერსიო არესა და სუსპენზიას შორის არ წარმოიქმნება. ამ შემთხვევაში სედიმენტაციური ანალიზის ამოცანაა პოლიდისპერსიულ სისტემაში ცალკეული ფრაქციის შეფარდებითი რაოდენობის განსაზღვრა და ზომის მიხედვით მათი განაწილების შეფასება. ამ მიზნით, ექსპერიმენტულად საზღვრავენ გარკვეულ, ერთიდაიგივე დროის მონაკვეთში გამოყოფილი ნალექის წონას მუდმივი წონის მიღებამდე (სუსპენზიის სრულ დალექვამდე) და აგებენ ნალექის (m) წონასა და დალექვის (τ) დროს შორის დამოკიდებულების გრაფიკს, რომელსაც სედიმენტაციური მრუდი ეწოდება. სედიმენტაციური მრუდიდან მიიღება ყველა საჭირო მონაცემი პოლიდისპერსიული სისტემის დახასიათებისთვის.

რეალურ სისტემებში მრუდი წარმოადგენს პარაბოლას. მრუდის სხვადასხვა წრტილზე, სადაც სიმრუდე უფრო მკვეთრად იცვლება, ავლებენ მხებებს (5-7) და აგრძელებენ ორდინატთა ღერძის გადაკვეთამდე. ღერძზე მხებებით მოკვეთილი მონაკვეთების სიგრძე შესაბამის დროში (τ_1 ; τ_2 ; τ_3 ...) სრულად გამოლექილი ფრაქციის წონის (P_1 ; P_2 ; P_3 ... P_{max}) ტოლია. P_{max} არის ნალექის წონა, რომელიც სედიმენტაციის დამთავრებას შეესაბამება.

(6) და (5) ფორმულებით ანგარიშობენ თითოეული ფრაქციის შემადგენელი ნაწილაკების დალექვის სინქარეს და რადიუსს. r_{max} განსაზღვრის მიზნით ავლებენ მხებს კოორდინატთა სათავიდან. მრუდის სწორხაზოვანი უბნის ბოლო წერტილი, სადაც მხები აცდება მრუდს, შეესაბამება r_{max} -ანი ნაწილაკების დალექვის დროს. r_{min} გამოითვლება იმ დროით, რომელიც შეესაბამება წერტილს, სადაც მრუდი გადადის აბსცისთა ღერძის პარალელურ სწორ ხაზში.

სუსპენზიაში ცალკეული ფრაქციის პროცენტულ შემცველობას ანგარიშობენ ფორმულით:

$$Q = \frac{P}{P_{max}} 100\%$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots \pm Q_m = 100\%$$

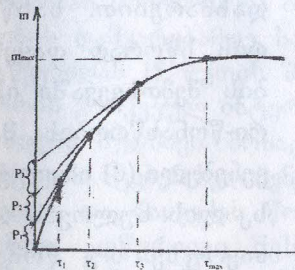
პოლიდისპერსიულ სისტემაში ნაწილაკების განაწილებაზე ნათელ წარმოდგენას იძლევა განაწილების ინტეგრალური (ჯამური) და დიფერენციალური მრუდები.

ინტეგრალური მრუდის აგებას იწყებენ ყველაზე მცირე ნაწილაკებით, (r_{min}). მათ პროცენტულ რაოდენობას (Q_0) გადაზომავენ ორდინატზე. შემდეგი ფრაქციის ნაწილაკებისათვის (r_1), ორდინატთა ღერძზე გადაზომავენ მონაკვეთს, რომელიც წინა ფრაქციის (r_{min}) შესაბამისი Q_0 -ის და r_1 რადიუსიანი ფრაქციის პროცენტული რაოდენობის Q_1 -ის ჯამის ტოლია, ე.ი. ($Q_0 + Q_1$); შემდეგი - r_2 რადიუსიანი ნაწილაკებისთვის ($Q_0 + Q_1 + Q_2$) და ასე შემდეგ. ბოლო ორდინატა, რომელიც r_{max} შეესაბამება ტოლია 100%-ის.

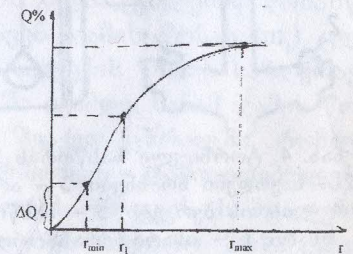
განაწილების დიფერენციალური მრუდის ასაგებად იყენებენ განაწილების ინტეგრალურ მრუდს. ამ მიზნით, აბსცისთა ღერძს ყოფენ ნებისმიერ ტოლ, მაგ 2 μ მონაკვეთებად (არანაკლებ 8-10). პოულობენ ყველა რადიუსის

შესაბამის წერტილებს მრუდზე. ამ წერტილების გეგმილებით ორდინატთა ღერძზე გამოთვლიან ΔQ .

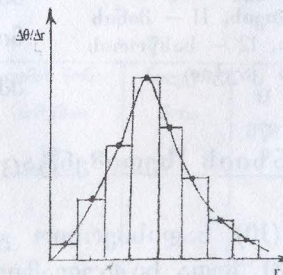
ამის შემდეგ აბსცისთა ღერძზე გადაზომავენ r , ხოლო ორდინატზე $\Delta Q/\Delta r$. ავებენ სწორკუთხედებს, რომელთა ფუძე წარმოადგენს Δr , სიმაღლე კი - $\Delta Q/\Delta r$, რომელიც შეესაბამება ცალკეული ფრაქციის პროცენტულ შემცველობას, რადგან დიფერენციალური მრუდის ასაგებად აღებულია ნაწილაკების რადიუსების ერთნაირი ინტერვალები. სწორკუთხედების ზედა ფუძის შუა წერტილებს აერთებენ მრუდით, რომელიც წარმოადგენს განაწილების დიფერენციალურ მრუდს. რაც უფრო ვიწროა მრუდი და მკვეთრია მაქსიმუმი მით უფრო ახლოა სისტემა მონოდისპერსიულთან. მრუდის მაქსიმუმი შეესაბამება ყველაზე სააღბათო ფრაქციას.



ნახ. 1. სელიმენტაციური მრუდი



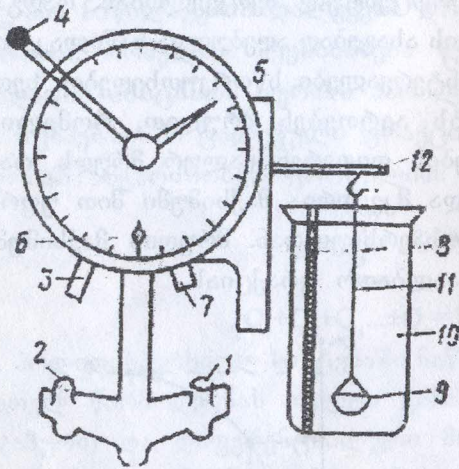
ნახ. 2. განაწილების ინტეგრალური მრუდი



ნახ. 3. განაწილების დიფერენციალური მრუდი

ექსპერიმენტული ნაწილი

დისპერსიული სისტემების სედიმენტაციური ანალიზის ჩასატარებლად იყენებენ ტორსიულ სასწორს, რომლის სქემა მოცემულია ნახაზზე.



ნახ. 4. ტორსიული სასწორის სქემა
1,2 - საყრდენი ხრახნები, 3 - არეტირი,
4 - ისრის ბერკეტი, 5 - სასწორის
ისარი; 6 - ისარი-წონასწორობის
მაჩვენებელი, 7 - ხრახნი, 8 -
მილიმეტრებიანი სკალა; 9 - ჯამი
სედიმენტაციური ნალექისათვის; 10 -
ჭიქა სუსპენზიისათვის, 11 - მინის
წვრილი კაპილარი, 12 - სასწორის
მხარეული კაუჭით

თიხის სუსპენზიის სედიმენტაციური ანალიზი

ავსებენ ჭიქას (10) სადისპერსიო გარემოთი მილიმეტრებიანი სკალის (8) ზედა ნიშნულამდე და მიუდგამენ მას ტორსიულ სასწორს. ჭიქაში ათავსებენ ჯამს (9), რომელიც

მუშაობის დაწყებამდე ხრახნების (1,2) საშუალებით გაასწორებენ სასწორის დონეს. ამის შემდეგ ხსნიან არეტირს (3), აყენებენ ისარს (5) ნულზე ბერკეტის (4) დახმარებით. სასწორის სწორად დაყენების შემთხვევაში ისარი-წონასწორობის მაჩვენებელი (6) იმყოფება სკალის ნულთან და ნაყოფზე. თუ წონასწორობა დარღვეულია, მას ასწორებენ ხრახნის (7) დახმარებით და კეტავენ არეტირს.

ჩამოკიდებულია სასწორის მხარეულის კაუჭზე მინის წვრილი კაპილარით (11). ჯამი უნდა იმყოფებოდეს ჭიქის ცენტრში ფსკერიდან 2-3 სმ-ით მაღლა. ხსნიან არეტირს და ბერკეტის მოძრაობით აყენებენ ისარ-წონასწორობის მაჩვენებელს ნულთან მდგომარეობაში. სასწორის ისარი სკალაზე აჩვენებს ჯამის მასას (m_0) სადისპერსიო გარემოში.

მილიმეტრებიანი სკალის (8) მიხედვით ზომავენ სითხეში ჯამის ჩაძირვის სიმაღლეს (H) სმ. შემდეგ კეტავენ არეტირს და ჩამოხსნიან ჯამს მხარეულიდან.

საკვლევ სუსპენზიას, რომლის კონცენტრაცია არ უნდა აღემატებოდეს 1%, ასხამენ ჭიქაში ისე, რომ ზედა დონე იმყოფებოდეს სკალის ნულზე, ენერგიულად ურევენ სპეციალური სარევი 1-2 წუთის განმავლობაში. შემდეგ სარევს იღებენ ჭიქიდან, სწრაფად ათავსებენ მასში ჯამს, ჩამოკიდებენ სასწორის მხარეულზე და იმედროულად რთავენ წამზომს.

ხსნიან არეტირს და ბერკეტის გადაადგილებით წონასწორობის დამყარებამდე საზღვრავენ ჯამის წონას (m_1) ცდის დაწყებიდან 15 წუთის შემდეგ. ნალექის წონას საზღვრავენ დროის გარკვეულ ინტერვალებში იქამდე, სანამ ჯამის წონა გახდება მუდმივი. მონაცემები შეაქვთ ცხრილში, რომლის მიხედვით აგებენ სედიმენტაციურ მრუდს - დამოკიდებულებას დროსა და ნალექის წონას შორის. მრუდის საშუალებით ზემოთ აღწერილი წესით, იღებენ საჭირო მონაცემებს სუსპენზიაში ნაწილაკების განაწილების ინტეგრალური და დიფერენციალური მრუდების ასაგებად.

ცხრილი

დრო τ წმ	ცარიელი თევზის წონა m_0 მგ	ჯამის წონა ნიშნით m_1	ნალექის წონა m	$\frac{U}{V}$	r_{μ}	$Q\%$	შენიშვნა

IV დისპერსიული სისტემების მდგრადობა
და კოაგულაცია

დისპერსიული სისტემა მდგრადია, თუ მისი ძირითადი პარამეტრები: დისპერსულობის ხარისხი და სადისპერსიო არეში დისპერსული ფაზის ნაწილაკების თანაბარი განაწილება, უცვლელია დროში.

დისპერსიული სისტემის მდგრადობის პრობლემა ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი და ურთულესი პრობლემაა კოლოიდურ ქიმიაში. დისპერსიული სისტემების მდგრადობის შენარჩუნება აუცილებელია მათგან სხვადასხვა ნაკეთობების, დანაფარების, სამკურნალო პრეპარატების და სხვა მასალების მისაღებად. მდგრადობის ლიკვიდაცია კი საჭიროა სტრუქტურების წარმოსაქმნელად მასალებში, ნალექების მისაღებად, სამრეწველო გამონაბოლქვების გასაწმენდად და ა.შ.

განასხვავებენ დისპერსული სისტემების მდგრადობის ორ სახეს: კინეტიკურ (სედიმენტაციურ) და აგრეგატულ მდგრადობას.

კინეტიკური მდგრადობა ეწოდება დისპერსიული ფაზის მდგრადობას სიმძიმის ძალის გავლენით ნაწილაკების დალექვის მიმართ, ანუ სისტემის (უნარს შეინარჩუნოს დისპერსული ფაზის ნაწილაკების თანაბარი განაწილება სადისპერსიო არის მთელ მოცულობაში.)

(აგრეგატული მდგრადობა ეწოდება დისპერსული ფაზის ნაწილაკების მდგრადობას აგრეგაციის (გამსხვილების) მიმართ,) ანუ სისტემის უნარს შეინარჩუნოს ფაზის დისპერსულობის ხარისხი.

მიკროპეტროგენულ სისტემებში (სუსპენზიები, ემულსიები) კინეტიკური მდგრადობა შეიძლება დაირღვეს და სისტემა დაიშალოს ნაწილაკების დალექვის გამო. მაღალდისპერსიული კოლოიდური სისტემები კინეტიკურად მდგრადი სისტემებია, მათთვის დამახასიათებელია სედიმენტაციურ-დიფუზიური წონასწორობა.

აგრეგატული მდგრადობა შეიძლება იყოს თერმოდინამიკური. თერმოდინამიკურად მდგრადი სისტემები მიიღება ერთ ფაზის თავისთავადი დისპერგირებით მეორეში. პროცესი მიდის სისტემის თავისუფალი ენერჯის შემცირების ხარჯზე. მათთვის

$$\Delta F = \Delta U - T\Delta S < 0$$

ასეთ სისტემებს ლიოფილური დისპერსიული სისტემები ეწოდება. ისინი აგრეგატულად მდგრადი სისტემებია.

(ლიოფობური კოლოიდური სისტემები თერმოდინამიკურად უმდგრადი სისტემებია) მათში ფაზის დისპერგირება ხდება გარედან შესრულებული მუშაობის ხარჯზე. მათთვის

$$\Delta F = \Delta U - T\Delta S > 0$$

(ლიოფობური კოლოიდური სისტემები ფლობენ ჭარბ თავისუფალ ზედაპირულ ენერჯიას, რის გამოც მათში თავისთავად მიმდინარეობს ნაწილაკების გამსხვილების პროცესი. ისინი აგრეგატულად უმდგრადი სისტემებია.

ნაწილაკების შეწებებას, გამსხვილებას და მათ შემდგომ დალექვას კოაგულაცია ეწოდება. წარმოქმნილი კოაგულატი შეიძლება იყოს ნალექი სხვადასხვაგვარი სტრუქტურის: მკვრივი, ხაჭოსებრი, კრისტალის მსგავსი.

აგრეგატულად მდგრადი ლიოფობური სისტემების მისაღებად გამოიყენება ნივთიერებები, რომლებიც ამცირებენ სისტემის ჭარბ თავისუფალ ზედაპირულ ენერჯიას. მათ

მდგრადობის თერმოდინამიკური ფაქტორები ეწოდება. მათგან მნიშვნელოვანია: 1) ელექტროსტატიკური ფაქტორი, რომელიც იწვევს ზედაპირული ენერჯიის შემცირებას ნაწილაკების ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნის გამო. 2) ადსორბციულ - სოლვატური ფაქტორი, რომელიც ამცირებს ზედაპირულ ენერჯიას დისპერსული ფაზის ნაწილაკების სადისპერსიო გარემოსთან ურთიერთქმედებისას სოლვატური შრეების წარმოქმნის გამო.

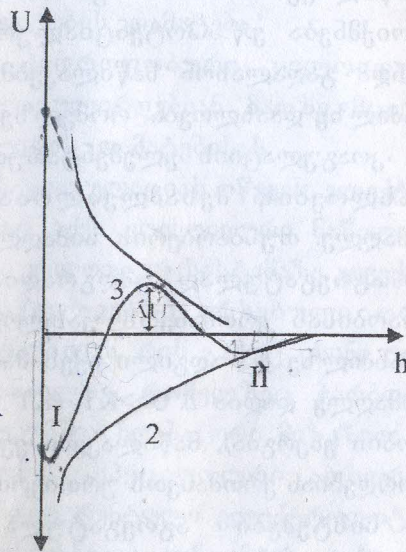
არსებობს აგრეგატიული მდგრადობის კინეტიკური ფაქტორები, რომლებიც ძირითადად დაკავშირებულია პიდროდინამიკურ თვისებებთან. კინეტიკურ ფაქტორებს მიეკუთვნება სტრუქტურულ - მექანიკური ფაქტორი, რომელიც ნაწილაკების ზედაპირზე წარმოქმნის მაღალმოლეკულურ ან ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მიერ გარკვეული სიმტკიცისა და დრეკადობის მქონე შრეებს, რომელთა დარღვევისთვის საჭიროა გარკვეული დრო და ენერჯია.

(თანამედროვე წარმოდგენებით ლიოფობური კოლოიდური სისტემების მდგრადობა ან კოაგულაცია განიხილება როგორც ნაწილაკებს შორის მოლეკულათაშორის (ვან-დერ-ვაალსის) მიზიდვის და ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალების ერთდროული მოქმედების შედეგი. ამ ძალების ბალანსის მიხედვით, ნაწილაკების ურთიერთმიახლოებისას, მათ შორის სითხის თხელ ფენაში ჭარბობს მიზიდვის ან განზიდვის ძალები.

ელექტროსტატიკური განზიდვის ენერჯია ნაწილაკებს შორის მანძილის გაზრდით მცირდება ექსპონენციალური კანონით, მიზიდვის ენერჯია კი - ნაწილაკებს შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად. განზიდვის

ენერჯია დადებითადაა მიღებული, მიზიდვის ენერჯია კი - უარყოფითად/

განზიდვის და მიზიდვის ენერჯიების (U) დამოკიდებულება ნაწილაკებს შორის მანძილზე (h) მოცემულია 1 ნახაზზე.



ნახ. 1. ნაწილაკებს შორის განზიდვის (1) და მიზიდვის (2) (u) ენერჯიების და მათი ურთიერთქმედების ჯამური ენერჯიის (3) დამოკიდებულება ნაწილაკებს შორის (h) მანძილზე.

კოლოიდური სისტემის ქცევა - მათი მდგრადობა ან კოაგულაციის სიჩქარე დამოკიდებულია ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების ჯამური ენერჯიის ნიშანზე და სიდიდეზე (მრ. 3).

მცირე და დიდ მანძილებზე ნაწილაკებს შორის ჭარბობს მიზიდვის ენერჯია, საშუალო მანძილებზე - განზიდვის ენერჯია. ამის გამო $U=f(h)$ ფუნქციის ჯამურ მრუდზე ჩნდება ორი მინიმუმი (I და II) და მაქსიმუმი - პოტენციალური ბარიერი (ΔU). შორ მანძილზე (II მცირე მინი-

მუმი) ხდება ნაწილაკების დაახლოება და ურთიერთფიქსაცია ისე, რომ მათ შორის რჩება სადისპერსიო გარემოს თხელი შრე. ასეთი მდგომარეობა შეესაბამება შექცევად კოაგულაციას. კოაგულაციური წონასწორობა იმით ხასიათდება, რომ აგრეგატები (ან ნალექი) ადვილად იშლება მათზე მცირე რაოდენობით ზოგიერთი ნივთიერების, მაგალითად, პეკსინის

დამატებით და ხდება ნაწილის გადასვლა ზოლის მდგომარეობაში

ამ პროცესს პეპტიზაცია ეწოდება, ხოლო ნივთიერებებს – პეპტიზატორები (პეპსინის სახელწოდების მიხედვით).

საშუალო მანძილზე ნაწილაკებს შორის ჭარბობს განზიდვის ენერგია, წარმოიქმნება ე.წ. პოტენციალური ბარიერი (ΔU), რომელიც უნდა გადალახონ ნაწილაკებმა, რათა მოხდეს მათი ისეთ მანძილზე დაახლოება, რომელზეც ჭარბობს მიზიდვის ძალები. კოაგულაციის ელემენტარულ აქტში ნაწილაკების დაახლოების შესაძლებლობას განსაზღვრავს ბარიერის სიმაღლე. თუ ბარიერის სიმაღლე მცირეა ($\Delta U < KT$) სისტემა აგრეგატულად უმდგრადია, ნაწილაკები ბროუნის მოძრაობისას ერთმანეთს უახლოვდებიან შესაძლო უმცირეს მანძილზე და ადგილი აქვს მათ შეწყობას. თუ ბარიერის სიმაღლე დიდია $\Delta U \gg KT$ (KT – ნაწილაკების თბური მოძრაობის ენერგია), ნაწილაკები ვერ გადალახავენ ბარიერს და შორდებიან ერთმანეთს ურთიერთ-შეწყობების გარეშე. ასეთი სისტემები აგრეგატულად მდგრადია და მით მეტად, რაც მეტია ბარიერის სიმაღლე. ბარიერის სიმაღლის გაზრდას იწვევს ნაწილაკების ზედაპირზე არსებულ ორმაგ ელექტრულ შრეში დიფუზიური პოტენციალის (ϕ_s) გაზრდა.

ახლო მანძილზე (I ღრმა მინიმუმი), როცა ბარიერის სიმაღლე და II მინიმუმის ხილრმე მცირეა, ნაწილაკები ბროუნის მოძრაობისას ერთმანეთს უახლოვდებიან უმცირეს მანძილზე და ხდება შეწყობება, კოაგულაცია არაშექცევადია. მიღებული კოაგელის გადაყვანა ზოლის მდგომარეობაში ხდება იძულებითი დისპერგირებით.

ყველა ფაქტორი, რომელიც იწვევს პოტენციალური ბარიერის შემცირებას ან გაქრობას, გამოდგება კოაგულაციის გამომწვევ ფაქტორად. ასეთი ფაქტორებია: მექანიკური ან სინათლის მოქმედება, ტემპერატურის მკვეთრი შეცვლა (გაცხელება, გაცივება), კონცენტრაციის შეცვლა, ელექტროლიტების დამატება.

ჰიდროფობური კოლოიდური სისტემები ადვილად კოაგულირდებიან მათზე მცირე რაოდენობით ელექტროლიტის დამატებისას.

7 კოაგულაციას იწვევს ელექტროლიტის ის იონი, რომელსაც აქვს კოლოიდური ნაწილაკის საწინააღმდეგო მუხტი,

კოლოიდურ სისტემაზე ელექტროლიტის დამატება იწვევს ნაწილაკებზე არსებულ ორმაგი ელექტრული შრის შეკუმშვას, რის გამოც ისინი უახლოვდებიან ერთმანეთს იმ მანძილზე, რომელზეც ჭარბობს მიზიდვის ძალები. ოქმ შეკუმშვა ხდება ორი მიზეზით: 1) ნაწილაკების ზედაპირზე იონთა სპეციფიკური ადსორბციის გამო, 2) ხსნარში ინდიფერენტული ელექტროლიტის (არ ხდება სპეციფიკური ადსორბცია) კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება ხსნარის იონური ძალა, რის გამოც მცირდება საწინააღმდეგო იონების დიფუზიის უნარი და, შესაბამისად, დიფუზიური შრის სისქე.

აქედან გამომდინარე, კოაგულაციას ეწოდება ნეიტრალიზაციური ან კონცენტრაციული.

ნეიტრალიზაციური კოაგულაცია დამახასიათებელია იმ სისტემებისათვის, რომელშიც კოლოიდურ ნაწილაკებს აქვთ დაბალი ზედაპირული პოტენციალი. საწინააღმდეგო იონების სპეციფიკური ადსორბციის გამო იზრდება მათი კონცენტრაცია მკვეთრ შრეში, ხდება ზედაპირული პოტენციალის ნეიტრალიზაცია, დიფუზიური შრის სისქის და, შესაბამისად,

მისი პოტენციალის (ფ) შემცირება. სპეციფიკური აღსორბ-
ციის უნართ ხასიათდება მაღალვალენტიანი იონები.

კონცენტრაციული კოაგულაცია დამახასიათებელია ძლიერ
დამუხტული ნაწილაკების შემცველი კოლოიდური
სისტემებისთვის, რომლებშიც კოაგულაციის პროცესზე
უპირატეს გავლენას ახდენს საღისსპერსიო გარემოს იონური
ძალა.

ელექტროლიტის იმ უმცირეს კონცენტრაციას, რომელიც
იწვევს კოაგულაციის დაწყებას, კოაგულაციის ზღურბლი
(γ) ეწოდება. კოაგულაციის ზღურბლის შებრუნებულ
სიდიდეს იონის მაკოაგულირებელი ძალა ეწოდება $V=1/\gamma$.

კოაგულაციის ზღურბლი დამოკიდებულია საწინააღმდეგო
იონის მუხტზე. იონის მუხტის გაზრდით კოაგულაციის
ზღურბლი მცირდება და, ამასთანავე, უფრო მეტად, ვიდრე
მუხტის სიდიდე.

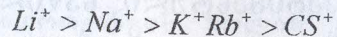
ექსპერიმენტულად დადგენილი იქნა, რომ მაღალვალენ-
ტიანი იონების შემთხვევაში კოაგულაციის ზღურბლი (γ)
იონის მუხტის მეექვსე ხარისხის უკუპროპორციულია.

$$\gamma = \frac{const}{Z^6}$$

კოაგულაციის ზღურბლი ერთ, ორ და სამვალენტიანი
იონებისთვის ისე შეფარდება ერთმანეთს როგორც

$$1 : \frac{1}{2^6} : \frac{1}{3^6} = 1 : \frac{1}{64} : \frac{1}{729}$$

ერთნაირი მუხტის მქონე საწინააღმდეგო იონებისათვის
კოაგულაციის ზღურბლი მცირდება ჰიდრატირებული იონის
რადიუსის შემცირებით. კათიონებისათვის კოაგულაციის
ზღურბლი მცირდება ლიოტროპულ რიგში:



ანიონებისათვის: $Cl^- > Br^- NO_3^- > I^-$

რაც უფრო ლიოფობურია იონი მით მეტია მისი მაკო-
აგულირებელი ძალა.

როგორც აღვნიშნეთ, ჰიდროფობური კოლოიდური სისტე-
მის მდგრადობის ერთ-ერთი ფაქტორია სტრუქტურულ-
მექანიკური ფაქტორი, რომელიც მდგრადობის უნივერსალურ
ფაქტორს წარმოადგენს და რომლის გარეშეც შეუძლებელია
ზოგიერთი ზოლის მიღება.

ჰიდროფობური კოლოიდური სისტემების მდგრადობის
უზრუნველსაყოფად, სისტემაში შეყავთ მაღალმოლეკულური
ნაერთები (მმნ) და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები
(ზან). ამ ნივთიერებების მოლეკულები აღსორბირდებიან
კოლოიდური ნაწილაკის ზედაპირზე და წარმოქმნიან
გარკვეული სისქის და სიმტკიცის შრეს, ქმნიან სტრუქტურ-
ულ-მექანიკურ ბარიერს. ასეთი ნივთიერებებია: ცილები,
საპნები, ელვტინი, ცელულოზა და სხვა.

ლიოფობური კოლოიდური სისტემების სტაბილიზაციას
(მმნ) და (ზან)-ით კოლოიდური დაცვა ეწოდება. ზოლების
დასაცავად კოაგულაციისაგან ჩვეულებრივად საკმარისია
დამცავი ნივთიერების მცირე რაოდენობა. ნივთიერების
დამცავი მოქმედების რაოდენობრივ საზომად იყენებენ
„ოქროს რიცხვს“, რომელშიც იგულისხმება დამცავი
ნივთიერების რაოდენობა (მგ), რომელიც საჭიროა დამატოს
ოქროს წითელ ზოლს, რათა არ მოხდეს მისი კოაგულაცია
(გალურჯება) მასზე 1 მლ NaCl-ის 10%-იანი ხსნარის
დამატებისას. ხშირად იყენებენ „ვერცხლის რიცხვს“ ან
„რკინის რიცხვს“, როცა ხდება ვერცხლის ან რკინის
ჰიდროქსიდის ზოლის დაცვა.

ექსპერიმენტული ნაწილი

1 კოლოფონის ზოლის კოაგულაციის ზღურბლის დადგენა

უარყოფითად დამუხტული კოლოფონის ზოლის კოაგულაციას ახდენენ ერთ, ორ და სამვალენტიანი კათიონის შემცველი ელექტროლიტების ხსნარებით: 0,1 M NaCl, 0,2 M BaCl₂ და 0,05M AlCl₃.

სამ კოლაში ათავსებენ 50-50 მლ 1%-იან კოლოფონის ზოლს და მიკრობიურეტი თითოეულს წვეთ-წვეთობით უმატებენ შესაბამისი ელექტროლიტის ხსნარს თეთრი ფიფქების მიღებამდე, რაც კოაგულაციის დაწყებაზე მიანიშნებს. მიღებული შედეგები შეაქვთ დაკვირვების ცხრილში 1. კოაგულაციის ზღურბლს (γ) ანგარიშობენ ფორმულით

$$\gamma = \frac{cnl000}{Z \cdot V} \text{ მმოლ/ლ}$$

სადაც C – ელექტროლიტის კონცენტრაცია (მოლ), n – კოაგულაციაზე დახარჯული ელექტროლიტის რაოდენობა (მლ), Z მაკოაგულირებელი იონის მუხტი, V – ზოლის მოცულობა (მლ)

ცხრილი 1

ელექტროლიტი	ელექტროლიტის დახარჯული რაოდენობა, მლ	კოაგულაციის ზღურბლი γ , მმოლ/ლ	მაკოაგულირებელი ძალა 1/ γ	შეფარდება
0,1 MNaCl ₂				
0,2 MBaCl ₂				
0,05 NAICl ₃				

2. რკინის ჰიდროქანგის ზოლის კოაგულაციის ზღურბლის დადგენა

ჰიდროლიზის რეაქციის გზით მიღებულ რკინის ჰიდროქანგის ზოლს 10-10 მლ რაოდენობით ასხამენ ათ დანომრილ სინჯარაში, უმატებენ გამოხდილ წყალს (ცხრილი 2 მიხედვით), შემდეგ 0,00125 M Na₂SO₄-ის ხსნარს მზარდი რაოდენობით ისე, რომ საერთო მოცულობა იყოს 15 მლ. აკვირდებიან რომელ სინჯარაში წარმოიქმნება სიმღვრივე ჩაინიშნავენ ამ სინჯარაში დამატებული ელექტროლიტის რაოდენობას.

ცხრილი 2

სინჯარის №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ზოლი, მლ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
წყალი, მლ	5	4	35	3	25	2	15	1	05	0
ელექტროლიტი, მლ	0	1	15	2	25	3	35	4	45	5
საერთო რაოდენობა, მლ	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

3. ქულატინის „რკინის რიცხვის“ განსაზღვრა

რკინის ჰიდროქანგის ზოლის დასაცავად იყენებენ ქულატინის 0,01%-იან ხსნარს.

ათ სინჯარაში ასხამენ 5-5 მლ ზოლს, სინჯარებს უმატებენ ქულატინის 0,01%-იან ხსნარს მზარდი რაოდენობით (0-5 მლ) და წყალს იმ რაოდენობით, რომ ელექტროლიტის დამატების შემდეგ საერთო რაოდენობა იყოს 15 მლ. ამის

შემდეგ ამატებენ ელექტროლიტს (Na_2SO_4). იმ რაოდენობით, რომელიც საჭიროა 5 მლ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -ის ზოლის კოაგულაციისათვის (ცხ. 2).

აკვირდებიან რომელ სინჯარაში მოხდა კოაგულაცია, აღნიშნავენ სინჯარის ნომერს. ქულატინის რკინის რიცხვს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$S = \frac{cV1000}{V_{\text{ზოლის}}} \text{ მგ/ლიტრი}$$

სადაც C – ქულატინის ხსნარის კონცენტრაციაა მგ/მლ.

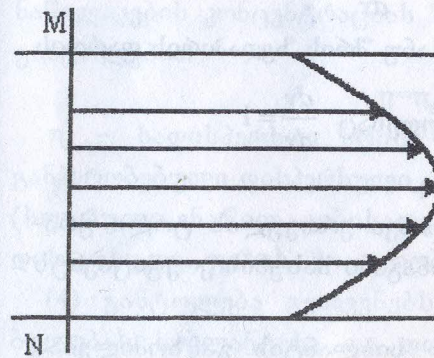
V – ზოლის დაცვისათვის საჭირო ქულატინის ხსნარის მოცულობა მლ.

V დისპერსიული სისტემების სტრუქტურული მექანიკური თვისებები

სტრუქტურების წარმოქმნა კოლოიდურ და მიკროპეტეროგენულ სისტემებში ხდება მათი აგრეგატული მდგრადობის დაკარგვის ანუ კოაგულაციის შედეგად. სტრუქტურების წარმოქმნასა და მათ ხასიათზე მსჯელობენ სისტემის მექანიკური თვისებებით, რომელთაგან მნიშვნელოვანია: სიბლანტე, დრეკადობა, სიმტკიცე, პლასტიურობა. რადგან ეს თვისებები უშუალოდ დაკავშირებულია სისტემის სტრუქტურასთან, მათ სტრუქტურულ-მექანიკურ ან რეოლოგიურ თვისებებს უწოდებენ. რეოლოგია – სწავლება მატერიალური სისტემის დეფორმაციისა და დინების შესახებ.

კოლოიდური და მიკროპეტეროგენული სისტემები, როგორც უკვე ვიცით, იყოფა თავისუფალდისპერსიულ და ბმულ დისპერსიულ სისტემებად. თხევადი სადისპერსიო არის შემთხვევაში შეიძლება არსებობდეს გარდამავალი სისტემები, რომლებშიც ცალკეული ნაწილაკები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ფაშარ აგრეგატებში, მაგრამ არ წარმოქმნიან ერთიან სივრცით სტრუქტურულ ბადეს.

თავისუფალდისპერსიული სისტემები ხასიათდებიან ბლანტი დინებით და თვისობრივად ემორჩილებიან იგივე კანონებს, რომელსაც სუფთა სადისპერსიო გარემო, როდენობრივად კი ამ სისტემების სიბლანტე ჩვეულებრივად უფრო მეტია სადისპერსიო გარემოს სიბლანტეზე.



ნახ. 1. კაპილარის სივრცე კვეთში სითხის მოძრაობის სიჩქარეთა განაწილება

დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის გაზრდა თავისუფალდისპერსიულ სისტემებში იწვევს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს შორის კონტაქტს და მთლიანი სივრცითი სტრუქტურის (სტრუქტურული ბადის) წარმოქმნას, რის გამოც სისტემა ხდება ბმული (სტრუქტურირებული), რომლის სიმტკიცე საკ-

მაოდ იზრდება და მის სიბლანტეს ეწოდება სტრუქტურული.

კოლოიდური სისტემის სიბლანტის თავისებურებების უკეთ გაგების მიზნით, ჯერ განვიხილოთ დაბალმოლეკულური სითხეების სიბლანტე და მათი დინების მექანიზმი. წვრილ

მიღში სითხის გადაადგილებისას ცალკეული შრე გადაადგილდება სხვადასხვა სიჩქარით, რომელიც იზრდება მილის კედლიდან ცენტრისკენ (ნახ. 1)

ნიუტონის კანონის თანახმად

$$F = \eta S \frac{dV}{dx} \quad (1)$$

სადაც F —შიგა ხახუნის ძალა, S —შრეების შეხების, ზედაპირი

$\frac{dV}{dx}$ — სიჩქარის გრადიენტი η —პროპორციულობის კოეფიციენტი

$$\frac{F}{S} = P = \eta \frac{dV}{dx} \quad (2)$$

სადაც P — გადაძვრის ძაბვა, ანუ შრის ზედაპირის ფართის

ერთეულზე მოქმედი ძალა. როდესაც $\frac{dv}{dx} = 1$

$$P = \eta.$$

სადაც η არის გადაძვრის ძაბვა ერთეულის ტოლი გრადიენტის პირობებში და მას შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტს ან სიბლანტეს უწოდებენ.

(1) განტოლების თანახმად სიბლანტის განზომილებაა გრ/სმ¹ წმ¹, პუაზი.

სწორად სარგებლობენ 100-ჯერ ნაკლები სიდიდით-სანტიპუაზი. სიჩქარის გრადიენტის გაზომვა რთულია, ამიტომ ნიუტონის კანონის უშუალო გამოყენება სიბლანტის ანგარიშისათვის ძნელია. ჩვეულებრივ იყენებენ პუაზიელის განტოლებას

$$V = \frac{4\pi r^4 \Delta P \tau}{8\eta l} \quad (3)$$

$V - \tau$ დროში r რადიუსის და l სიგრძის კაპილარიდან ჩამოდინებული სითხის მოცულობა. ΔP — მილის ბოლოებზე წნევათა სხვაობა.

ნიუტონისა და პუაზიელის განტოლებები სამართლიანია მხოლოდ სითხის დინების ლამინარული რეჟიმისათვის. სითხეებს, რომლებიც ემორჩილებიან ნიუტონის და პუაზიელის კანონებს, ნორმალურ ან ნიუტონის სითხეებს უწოდებენ.

სითხეში კოლოიდური ნაწილაკების არსებობა სიბლანტეს ზრდის, სისტემის სიბლანტესა და დისპერსული ფაზის ნაწილაკების კონცენტრაციას შორის კავშირი გამოიხატება განტოლებით

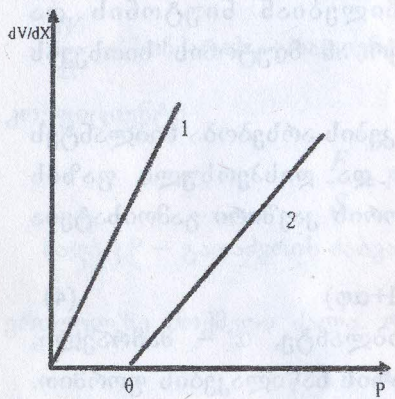
$$\eta = \eta_0(1 + \alpha\varphi) \quad (4)$$

η_0 — სადისპერსიო არის სიბლანტე, α — მამრავლი, განპირობებული დისპერსული ფაზის ნაწილაკების ფორმით. (სფერული ნაწილაკებისათვის $\alpha=2,5$), φ — 1 მლ-ში დისპერსული ფაზის მოცულობითი კონცენტრაცია.

(4) განტოლება გვიჩვენებს სწორხაზოვან დამოკიდებულებას სიბლანტესა და დისპერსული ფაზის კონცენტრაციას შორის და სამართლიანია მხოლოდ განზავებული კოლოიდური ხსნარებისათვის, რომელთა ჩამოდინებისას კაპილარში ნაწილაკები ერთმანეთზე არ მოქმედებენ. მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში, ლიოფილური ზოლის შედარებით მცირე კონცენტრაციისას (მაგ. ქულატინის განზავებული ზოლი), (4) განტოლებით დამოსახული სწორხაზოვანი

დამოკიდებულება ირღვევა და ხსნარის სიბლანტე გაცილებით მაღალია, ვიდრე განტოლებით გაანგარიშებული.

ეს ფაქტი აიხსნება იმით, რომ ზოლები ადვილად გადავიდნენ გელში და სისტემაში წარმოიქმნა სივრცითი სტრუქტურა; გარდა ამისა, ლიოფილური კოლოიდური ხსნარის ნაწილაკები ურთიერთქმედებენ სადისპერსიო არესთან და წარმოქმნიან სოლვატურ შრეებს, რაც ნაწილაკების მოცულობას ზრდის.



ნახ. 2. დამოკიდებულება სითხის გადაძვრის ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის.

1 - ნიუტონის სითხისთვის, 2 - შევლოვ-ბინგამის სითხისთვის უწოდებენ, ხოლო კრიტიკულ გადაძვრის ძაბვას θ - დენადობის ზღვარს. ამ სისტემებისათვის ნიუტონის განტოლება იცვლება შევლოვ-ბინგამის განტოლებით

$$P - \theta = \eta \frac{dV}{dx} \quad (5)$$

სადაც η' - სიბლანტეა, რომელიც პლასტიკურ დინებას შეესაბამება.

თუ სისტემაში სივრცითი სტრუქტურა არ არის, $\theta=0$, შევლოვ-ბინგამის განტოლება გადადის (2) განტოლებაში, ხოლო პლასტიკური სიბლანტე - სითხის ჭეშმარიტ სიბლანტეში. დამოკიდებულება გადაძვრის ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის მოცემულია ნახ. 2-ზე. ნიუტონის სითხეებისათვის ეს დამოკიდებულება სწორხაზოვანია (მრუდი 1). პლასტიკური სითხეებისათვის სითხის დინება იწყება, როცა P გადააჭარბებს θ -ს (მრ. 2).

ექსპერიმენტული ნაწილი

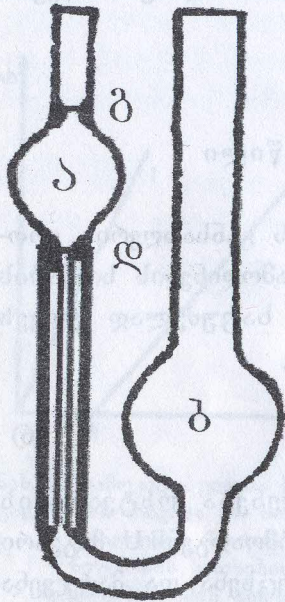
კოლოიდურ სისტემებში სიბლანტის განსაზღვრის ერთ-ერთი მეთოდია კაპილარში სითხის ჩამოდინების სიჩქარის განსაზღვრის მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს პუაზეილის განტოლება (3), საიდანაც

$$\eta = \frac{4\pi^2 \Delta P}{8Vl} \tau \quad (6)$$

სიბლანტის გასაზომად გამოიყენება ოსტვალდის ვისკოზიმეტრი (ნახ. 3), რომელიც წარმოადგენს U მაგვარი ფორმის მინის მილს, რომელსაც მარცხენა და მარჯვენა მუხლში აქვს გაფართოებული ნაწილები (ა) და (ბ). (ა)-ს ზევით და ქვევით არის ნაჭდევები (გ) და (დ). მუშაობის დაწყებამდე ვისკოზიმეტრს ქრომის ნაზავით და შემდეგ წყლით რეცხავენ, ათავსებენ თერმოსტატში ისე, რომ ნაჭდევი (გ) თერმოსტატის სითხის დონეზე ქვევით იყოს. (ბ) მილში ასახამენ საკვლეფ სითხეს.

როცა ტემპერატურა მიაღწევს საჭირო მნიშვნელობას, სითხეს შეიწოვენ კაპილარის (გ) ნაჭდევზე საგრძნობლად ზევით და წამშობის საშუალებით ზომავენ (გ)-დან (დ) ნაჭდევამდე სითხის ჩამოდინების დროს (τ).

პუაზეილის განტოლებით შეიძლება გამოთვალონ სითხის



აბსოლუტური სიბლანტე თუ ცნობილია კაპილარის რადიუსის მნიშვნელობა. წინააღმდეგ შემთხვევაში ანგარიშობენ სითხის ფარდობით სიბლანტეს. ამ მიზნით ვისკოზიმეტრში ასხამენ სტანდარტულ სითხეს, რომლის სიბლანტეც ცნობილია (η_0) (მაგ. გამოსდილი წყალი) და ანალოგიურად ზომავენ მის ჩამოდინების დროს (τ_0). წერენ ორივე სითხისთვის პუაზეილის განტოლებას, ყოფენ ერთს მეორეზე. ტოლი მოცულობის სითხეებისათვის ΔP_1 და ΔP_2 შეიძლება შეიცვალოს მათი სიმკვრივებით.

საანგარიშო ფორმულას ასეთი სახე აქვს

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{\tau_1 \rho_1}{\tau_0 \rho_0} \quad (7)$$

ნახ. 3. ოსტავალის ვისკოზიმეტრი

1. სიბლანტის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე

წინასწარ დამზადებულ 1%-ანი ქელატინის ხსნარიდან ამზადებენ 5 სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარს და ზომავენ თითოეული მათგანის და წყლის ჩამოდინების დროს. ფორმულით (7) ანგარიშობენ ფარდობით სიბლანტეს. შედეგები შეაქვთ ცხრილში 1, მონაცემებით აგებენ $\eta_{\text{ფარ.}} = f(c)$ გრაფიკს.

ცხრილი 1

სინჯარის №	I	II	III	IV	V	VI
ხსნარის რაოდენობა, მლ	10	75	5	25	1	0
წყლის რაოდენობა, მლ	0	25	5	75	9	10
ჩამოდინების დრო, წმ						
ფარდობითი სიბლანტე						

2. სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

0,5 %-ან ქელატინის ზოლს ასხამენ ვისკოზიმეტრის (ბ) მილში და ათავსებენ მასში თერმომეტრს. ნახევარი საათით ვისკოზიმეტრს ათავსებენ ყინულიან წყალში და ათვლიან ზოლის ჩამოდინების დროს 0°C-ზე, იგივეს იმეორებენ 20°C და 40°C-ზე. იმავე ტემპერატურაზე საზღვრავენ გამოსდილი წყლის ჩამოდინების დროს. მონაცემები შეაქვთ ცხრილში (2). ფორმულით (7) ანგარიშობენ ფარდობით სიბლანტეს. რადგან ქელატინის ხსნარი ძალიან განზავებულია $\rho = \rho_0$.

ცხრილი 2

ტემპერატურა t	ჩამოღინების დრო, წმ		სიმკვრივე ρ	ფარდობითი სიბლანტე η	შენიშვნა
	ჟელატინის ხსნარი τ	წყლის τ ₀			
0			0,99987		20°C-ზე η=1,01სპა
30			0,99823		
40			0,99224		

3. სიბლანტის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე

საზღვრავენ 5 მლ 1%-იანი ჟელატინის ზოლის და 5 მლ სხვადასხვა ხსნარის ნარევების (ცხრილი 3) და წყლის ჩამოღინების დროს და (7) ფორმულით ანგარიშობენ ფარდობით სიბლანტეს. შედეგი შეაქვთ ცხრილში 3.

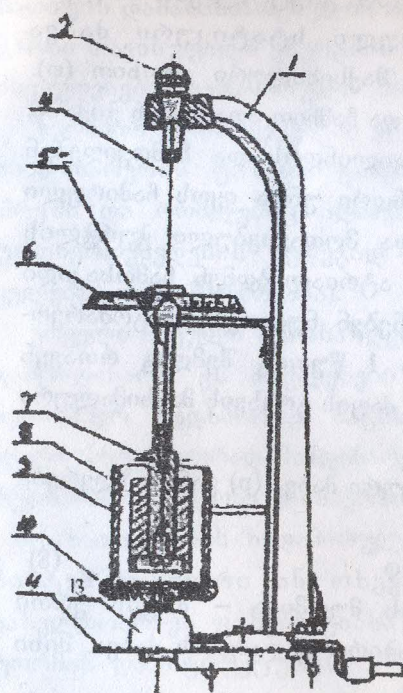
ცხრილი 3

ნარევის №	ზოლის რაოდ. მლ	ხსნარი 5 მლ	ნარევის pH	ტ ₀	ტ _ფ	ფარდობითი სიბლანტე
1	5	0,2 NHCl	~ 1,5			
2	5	0,01 NHCl	~ 2,5			
3	5	გამოხდილი წყალი	~ 5,0			
4	5	0,2 NNaOH	~ 12			
5	5	0,2 NNaOH	~ 13			

4. სუსპენზიის გადაძვრის ზღვრული
სტატიკური ძაბვის განსაზღვრა.

თიხის წყალხსნარების ტიპის სუსპენზიების გადაძვრის ზღვრული სტატიკური ძაბვის განსაზღვრისთვის გამოიყენება ხელსაწყო CHC-2 (ნახ. 5).

ხელსაწყო შედგება გამზომი ნაწილისა და ამძრავისაგან (13), რომელიც დამაგრებულია საერთო სადგამზე (11).



ნახ. 5. ხელსაწყო ზღვრული
სტატიკური ძაბვის
განსაზღვრისათვის CHC-2

გამზომი ნაწილი შეიცავს ჭიქას (9), რომელიც დგას მოძრავ საყრდენზე (10) და საზომ ცილინდრს (8), რომელიც ლითონის მილაკით (5) დაცული დრეკადი ძაფის (4) საშუალებითაა ჩამოკიდებული საყრდენზე (1), ძაფის ზედა ნაწილზე მირჩილულია სამაგრი, რომელზეც დატანილია ძაფის ნომერი. ამ სამაგრის საშუალებით ძაფი ჩამოიკიდება საკიდზე (2). მილაკზე მაგრდება სკალა (6) დანაყოფის ფასით 1°. მაჩვენებელი (3) დამაგრებულია საყრდენზე (1). ძაფის დამაგრება მილაკში ხორციელდება ხრახნით (7).

თანადერძულობა საზომი ცილინდრის ჭიქასთან რეგულირდება ხრახნებით (12). ჭიქის აძვრა კი ხორციელდება ელექტროძრავით (13). ელექტროძრავის ჩასართავად გამოიყენება ტუმბლერი.

ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი შემდეგია: ჭიქაში თავსდება საკვლევი სუსპენზია, ჭიქის ბრუნვისას იგი წარიტაცებს მასში მოთავსებულ საზომ ცილინდრს და მთელ ჩამოკიდებულ სისტემას. ეს მოძრაობა გრძელდება მანამდე, სანამ ძაფის გრეხვის მომენტი არ გაუტოლდება ბრუნვის მომენტს. გადაძვრის ზღვრული სტატიკური ძაბვა განისაზღვრება ძაფის გრეხვის მაქსიმალური კუთხით (φ).

სინჯს აურევენ ინტენსიურად და ჩამჩით ათავსებენ ჭიქაში. ამავე ჭიქაში დგამენ საზომ ცილინდრს და ჩამოკიდებენ ძაფით საკიდზე. საზომი ცილინდრი უნდა იყოს ჩაძირული სუსპენზიაში ზედა კიდემდე და მოთავსებული ჭურჭლის ცენტრში. 2-3-ჯერ ფრთხილად ატრიალებდნენ ჩამოსაკიდი სისტემის მილაკს, სკალას აყენებენ ნულოვან მდგომარეობაში, ჩართავენ წამმზომს და 1 წუთის შემდეგ რთავენ ელძრავას. სკალაზე აღინიშნება ძაფის გრეხვის მაქსიმალური კუთხე გრადუსებში (φ).

გადაძვრის ზღვრული სტატიკური ძაბვა (P) განისაზღვრება ფორმულით

$$P=K\varphi \quad (8)$$

სადაც K არის ხელსაწყოს მუდმივა – ძაფის ერთი გრადუსით მობრუნებისთვის საჭირო გადაძვრის ძაბვა. მისი განზომილებაა პა/გრად.

ზედაპირული მოვლენები

კოლოიდური სისტემების ძირითადი და მნიშველოვანი თვისებები დაკავშირებულია ფაზათა გამყოფი ზედაპირის არსებობასთან. სისტემის თავისუფალი ენერგიის მნიშველოვანი ნაწილი თავმოყრილია ფაზათა შორის ზედაპირულ შრეში. თავისუფალი ენერგიის სიჭარბის გამო მაღალდისპერსიული სისტემები თერმოდინამიკურად უმდგრადია. მათთვის დამახასიათებელია პროცესები, რომლებიც იწვევენ ჭარბი თავისუფალი ენერგიის შემცირებას. ასეთ პროცესებს მიეკუთვნება ზედაპირული მოვლენები.

ზედაპირული მოვლენები ეწოდება პროცესებს, რომლებიც მიმდინარეობს ფაზათა გამყოფ საზღვარზე ზედაპირულ შრეში და რომლებიც აღიძვრება შეუღლებული ფაზების ურთიერთქმედების შედეგად (აღსორბცია, ადჰეზია, დასველება, ოეშ. წარმოქმნა).

ყოველი სხეული შემოსაზღვრულია ზედაპირით და, აქედან გამომდინარე, ეს მოვლენები შეიძლება მიმდინარეობდეს ნებისმიერ ზედაპირზე, მაგრამ ზედაპირული მოვლენები უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს ძლიერ განვითარებული ზედაპირების მქონე დისპერსიულ სისტემებში.

ფაზათა შორის ზედაპირული შრე შეიძლება არსებობდეს სისტემაში მყარი ან თხევადი ფაზის არსებობისას. სახელდობრ ეს ფაზები განსაზღვრავენ ზედაპირული შრის ფორმას და სტრუქტურას.

ზედაპირულ შრეს ფაზათა გამყოფ საზღვარზე ერთი ნაწილი ერთ ფაზაში აქვს, მეორე ნაწილი კი – მეორეში.

ზედაპირულ შრეში მყოფი მოლეკულები განსაკუთრებულ მდგომარეობაში იმყოფებიან. განსაკუთრებულობა იმაში

გამოიხატება, რომ ისინი განსხვავდებიან ფაზის სიღრმეში მყოფი მოლეკულებისგან თვისებებით და ენერგეტიკული მდგომარეობით. ფაზის მოცულობაში მყოფი მოლეკულა გარშემორტყმულია თავისივე მსგავსი მოლეკულებით. ამიტომ ამ მოლეკულაზე მოქმედი ძალები მთლიანად კომპენსირებულია. ზედაპირულ შრეში მყოფი მოლეკულა ურთიერთქმედებს, როგორც ერთი, ისე მეორე ფაზის მოლეკულებთან. ამ ფაზებში მოქმედი განსხვავებული მოლეკულათშორისი ძალების გამო მოლეკულაზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი მიმართულია იმ ფაზისკენ, რომელშიც ეს ძალები უფრო ძლიერია. ამის გამო ზედაპირულ შრეში მოლეკულებს გააჩნიათ ჭარბი თავისუფალი ენერგია ანუ სისტემის თავისუფალი ენერგიის მნიშვნელოვანი ნაწილი თავმოყრილია ზედაპირულ შრეში, რომელიც მუდმივი ტემპერატურის და წნევის პირობებში ზედაპირული შრის ფართის პროპორციულია:

$$G^* = \sigma S \quad (1)$$

სადაც G - ჭარბი თავისუფალი ზედაპირული ენერგია, S - ზედაპირული შრის ფართი, σ - ზედაპირული დაჭიმულობა. როდესაც $S = 1 \text{ სმ}^2$ (ან 1 მ^2), მაშინ $G^* = \sigma$.

ე.ი. ზედაპირული დაჭიმულობა არის ზედაპირული შრის ფართის ერთეულის (1 სმ^2 ან 1 მ^2) ჭარბი თავისუფალი ენერგია. მისი განზომილებაა ერგი/სმ² ან ჯოულ/მ².

ახალი ფაზათაშორისი ზედაპირის წარმოქმნისათვის (ან გაზრდისათვის) იხარჯება გარკვეული მუშაობა მოლეკულათა შორის კავშირების გაწყვეტაზე და მოლეკულების გადატანაზე ფაზის მოცულობიდან ზედაპირულ შრეში სადაც მუშაობის მნიშვნელოვანი ნაწილი გროვდება ჭარბი ენერგიის სახით.

$$W = \sigma \Delta S \quad \text{აქედან} \quad \sigma = W / \Delta S \quad (2)$$

სადაც W - მუშაობა, ΔS - ზედაპირული შრის ფართის ნაზრდი. როცა $\Delta S = 1 \text{ სმ}^2$ (ან 1 მ^2) $W = \sigma$.

ე.ი. ზედაპირული დაჭიმულობა არის ზედაპირული შრის ფართის ერთეულის ჭარბი თავისუფალი ენერგია ან ახალი ზედაპირის ფართის ერთეულის წარმოქმნაზე დახარჯული მუშაობა. (განზომილება და რიცხვითი მნიშვნელობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია ერგი/სმ² ან ჯოული/მ²).

ზედაპირული დაჭიმულობა შეიძლება განვიხილოთ აგრეთვე როგორც ძალა, რომელიც მოქმედებს ზედაპირული შრის კონტურის სიგრძის ერთეულზე, მიმართულია ზედაპირის მიმართ ტანგენციალურად (პარალელურად) და იწვევს მის შეკუმშვას. განზომილება არის დინი/სმ ან ნიუტონი/მ. რიცხვითი მნიშვნელობა სამივე შემთხვევაში ერთნაირია. წყლისთვის 20°C -ზე $\sigma = 72,765$ ერგი/სმ² ან $72,765$ დინი/სმ.

დიდი ზედაპირული დაჭიმულობით ხასიათდება პოლარული სითხეები, არაპოლარული სითხეებისათვის მისი მნიშვნელობა მცირეა.

თავისუფალი ზედაპირული ენერგიის სიჭარბის გამო მაღალდისპერსიული სისტემებისათვის დამახასიათებელია პროცესები, რომლებიც იწვევს თავისუფალი ენერგიის შემცირებას. ზედაპირული ენერგია შეიძლება შემცირდეს ზედაპირული შრის ფართის შემცირებით (კოაგულაცია, ფორმის ან სიმრუდის შეცვლა) ან ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირებით. ერთ-ერთი ზედაპირული მოვლენა, რომელიც მიმდინარეობს ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირების ხარჯზე, არის ადსორბცია.

ადსორბცია

ადსორბცია არის აირადი ან გახსნილი ნივთიერების კონცენტრირება ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე – ზედაპირულ შრეში.

ფაზას (ნივთიერებას), რომლის ზედაპირზე ხდება ადსორბცია, ადსორბენტი ეწოდება. ის შეიძლება იყოს მყარი ან თხევადი.

ნივთიერებას, რომელიც ადსორბირდება ადსორბენტის ზედაპირზე ადსორბატი ეწოდება. ადსორბატი ჩვეულებრივ არის აირად ან თხევად ფაზაში.

შებრუნებულ პროცესს – ნივთიერების გადასვლას ზედაპირული შრიდან ფაზის მოცულობაში დესორბცია ეწოდება.

მოსაზღვრე ფაზების აგრეგატული მდგომარეობა განსაზღვრავს ადსორბციის პროცესის სპეციფიკას. ანსხვავებენ ადსორბციას მყარი-აირის, მყარი-სითხის, სითხე-აირის და სითხე-სითხის საზღვარზე.

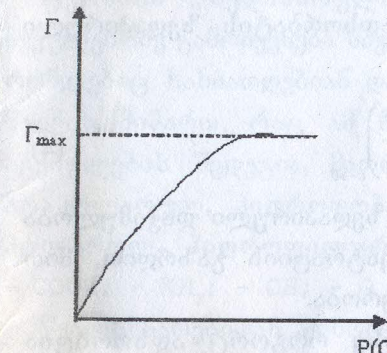
ადსორბციის პროცესის რაოდენობრივი დახასიათებისთვის იყენებენ ორ ძირითად სიდიდეს:

A – აბსოლუტური ადსორბცია, რომელიც იზომება ადსორბატის მოლელების რიცხვით ადსორბენტის ფართის ან მასის ერთეულზე.

Γ – გამოსახავს ადსორბატის მოლელების რიცხვის სიჭარბეს ზედაპირულ შრეში, ფაზის იმავე მოცულობაში მის რაოდენობასთან შედარებით. ისიც გამოითვლება 1სმ^2 ან 1 გრამ ადსორბენტზე. განზომილებაა მოლი/სმ² ან მოლი/გრ.

ადსორბციის პროცესში ადსორბენტ-ადსორბატის მოლეკულებს შორის მოქმედი ძალების მიხედვით არჩევენ

ფიზიკურ და ქიმიურ ადსორბციას. ფიზიკურ ადსორბციას განაპირობებს მოლეკულათშორისი ადსორბციული (ვან-დერ-ვაალსის) ძალები. ქიმიურ ადსორბციას კი – ქიმიური ძალები.



ნახ. 1 ადსორბციის იზოთერმი

ფიზიკური ადსორბცია შექცევადი, წონასწორული, ეგზოთერმული პროცესია. ტემპერატურის გაზრდა ლე-შატელიეს პრინციპის თანახმად იწვევს წონასწორობის გადახრას დესორბციის მიმართულებით. ქიმიური ადსორბცია არაშექცევადია.

ადსორბციის სიდიდე დამოკიდებულია ადსორბატის წნევაზე ან კონცენტრაციაზე. ამ დამოკიდებულების გრაფიკულ გამოსახვას $T=\text{const}$ პირობებში ადსორბციის იზოთერმი ეწოდება.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ადსორბატის დაბალი წნევის (კონცენტრაციის) დროს, ადსორბციის სიდიდე წნევის (კონცენტრაციის) პირდაპირპროპორციულია, მაღალი წნევის დროს კი – აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას Γ_{max} (აბსციისთა ღერძის პალალებური უბანი იზოთერმზე).

განზავებული ხსნარებიდან ადსორბციის შემთხვევაში კავშირი ადსორბციის სიდიდესა და ზედაპირული დაჭიმულობის ცვლილებას შორის გამოიხატება ჯიბსის განტოლებით

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial C} \quad (4)$$

სადაც C — ხსნარის წონასწორული კონცენტრაციაა, $\frac{\partial \sigma}{\partial c}$ — ზედაპირული დაჭიმულობის ცვლილება კონცენტრაციის ცვლილებით ასახავს ადსორბატის ბუნების გავლენას ადსორბციის სიდიდეზე და ნიშანზე. ამ სიდიდეს აღნიშნავენ g -თი, რომელსაც ადსორბატის ზედაპირული აქტიურობა ეწოდება:

$$g = - \left(\frac{\partial \sigma}{\partial c} \right)_{c \rightarrow 0} \quad (4)$$

რაც უფრო მეტად მცირდება ზედაპირული დაჭიმულობა გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდით, მით მეტია მისი ზედაპირული აქტიურობა.

ზედაპირული აქტიურობა, ისე როგორც ადსორბცია შეიძლება იყოს დადებითი და უარყოფითი. ეს დამოკიდებულია ადსორბატისა და გამხსნელის ბუნებაზე. თუ გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდით ფაზათა გამყოფ საზღვარზე ზედაპირული დაჭიმულობა მცირდება, მაშინ ასეთ ნივთიერებას ზედაპირულად აქტიური ეწოდება (ზან). მათთვის

$$\frac{\partial \sigma}{\partial c} < 0, \quad g > 0, \quad \Gamma > 0$$

ადსორბციის სიდიდე დადებითია ($\Gamma > 0$), როცა ზან კონცენტრაცია ზედაპირულ შრეში მეტია ფაზის მოცულობასთან შედარებით,

ნივთიერებებს, რომელთა კონცენტრაციის გაზრდა ხსნარში იწვევს ზედაპირული დაჭიმულობის გაზრდას, ზედაპირულად ინაქტიური ნივთიერებები ეწოდება. მათთვის

$$\frac{\partial \sigma}{\partial c} > 0, \quad g < 0, \quad \Gamma < 0$$

უარყოფითი ადსორბციის ($\Gamma < 0$) დროს ადსორბატის კონცენტრაცია ხსნარის მოცულობაში მეტია ვიდრე ზედაპირულ შრეში.

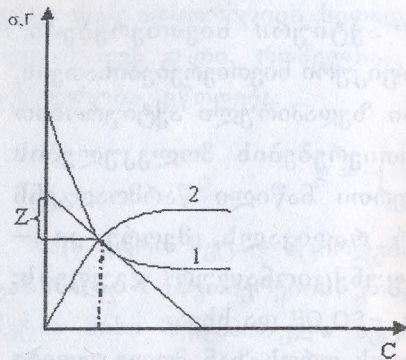
ტერმინი „ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები“ ჩვეულებრივ გამოიყენება სპეციფიკური ნივთიერებებისათვის, რომლებიც ხასიათდებიან დიდი ზედაპირული აქტიურობით წყლის მიმართ. რაც ამ ნივთიერებების მოლეკულების აგებულების შედეგია, მათი ერთი ნაწილი წარმოადგენს არაპოლარულ, ჰიდროფობურ რადიკალს, მეორე კი — პოლარულ, ჰიდროფილურ ფუნქციონალურ ჯგუფებს: — COOH; — NH₂; — OH; — O —; — SO₂OH და სხვა.

წყალხსნარებიდან ადსორბციის დროს ზან მოლეკულები გამოიღვევებიან მოცულობიდან სითხის ზედაპირზე, რადგან ურთიერთქმედება წყლის მოლეკულებს შორის უფრო ძლიერია ვიდრე წყალი — რადიკალს შორის. ამის შედეგად არაპოლარული რადიკალები ლაგდებიან არაპოლარულ აირად ფაზაში, ხოლო პოლარული ფუნქციონალური ჯგუფები — ზედაპირულ შრეში და ამცირებენ ზედაპირულ დაჭიმულობას. წყლის მიმართ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს მიეკუთვნება: საპნები, ცხიმოვანი მჟავები, მათი მარილები, ამინები, სპირტები და სხვა.

წყლის მიმართ ზედაპირულად ინაქტიური ნივთიერებებია ყველა არაორგანული მჟავა, ფუძე და მარილი, რომლებიც ძლიერ ჰიდრატირდებიან. ისინი უფრო ძლიერ ურთიერთ-ქმედებენ წყალთან ვიდრე წყლის მოლეკულები ერთმანეთთან, ამის გამო მათი კონცენტრაცია სითხის მოცულობაში უფრო მეტია ვიდრე ზედაპირულ შრეში.

ნახშირწყალბადების რადიკალის სივრძე ძლიერ გავლენას ახდენს ზან მოლეკულების ზედაპირულ აქტიურობაზე.

ცხიმოვანი მჟავების წყალხსნარების ზედაპირული დაჭიმულობის ექსპერიმენტული შესწავლის საფუძველზე დადგინდა, რომ კომპო-



ნახ. 2

ზედაპირული დაჭიმულობის (1) და აღსორბციის (2) სიდიდის დამოკიდებულება ფუნქციის იზოთერმების კონცენტრაციაზე.

მუშაობა 3,2-ჯერ თითოეულ CH_2 ჯგუფზე.

ჯიბსის განტოლების მიხედვით აღსორბციის სიდიდის უშუალო განსაზღვრა შეუძლებელია, რადგან მასში Γ ფუნქციაა C და σ -სი, მაგრამ შესაძლებელია სითხე-აირის საზღვარზე ზედაპირული დაჭიმულობის ექსპერიმენტული განსაზღვრის საფუძველზე მიღებული $\sigma=f(C)$ ფუნქციის გრაფიკიდან (მრ.1) ნებისმიერი კონცენტრაციისათვის გამოთვლილი იქნას Γ და აიგოს $\Gamma =f(C)$ ფუნქციის იზოთერმი. ამ მიზნით $\sigma=f(C)$ ფუნქციის მრუდზე იღებენ წერტილს, ავლებენ მასზე მხებს და აბსცისთა ღერძის პარალელურ ხაზს ორდინატთა ღერძის გადაკვეთამდე. მიღებული სამკუთხედიდან

$$Z/c = -\frac{\partial \sigma}{\partial C} \text{ და } Z = -C \frac{\partial \sigma}{\partial C}$$

ამ მნიშვნელობის ჩასმით (3) განტოლებაში მიიღება $\Gamma = Z/RT$. ამ წესით ანგარიშობენ Γ მნიშვნელობებს მრუდის სხვადასხვა წერტილისთვის, რომელიც შეესაბამება სხვადასხვა კონცენტრაციას და აგებენ $\Gamma=f(C)$ იზოთერმს. (მრ. 2), ნახ. 2.

მყარ ზედაპირზე ხსნარებიდან აღსორბციის დროს პროცესში მონაწილეობს სულ ცოტა ორი კომპონენტი: გამხსნელი და გახსნილი ნივთიერება. თითოეული მათგანის აღსორბცია დამოკიდებულია მათ აღსორბციის უნარზე. რაც უფრო კარგად აღსორბირდება ერთი კომპონენტი, მით ცუდად ხდება მეორის აღსორბაცია. ამიტომ გახსნილი ნივთიერების წყალხსნარებიდან აღსორბციისათვის იყენებენ ჰიდროფობურ აღსორბენტებს (გააქტიურებული ნახშირი), ხოლო არაწყალხსნარებიდან – ჰიდროფილურს (მინერალური აღსორბენტები). მყარი სხეული – ხსნარის საზღვარზე აღსორბაციის სიდიდე განისაზღვრება ექსპერიმენტულად ხსნარის კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით:

$$\Gamma = \frac{V(C_0 - C)}{m} \quad (4)$$

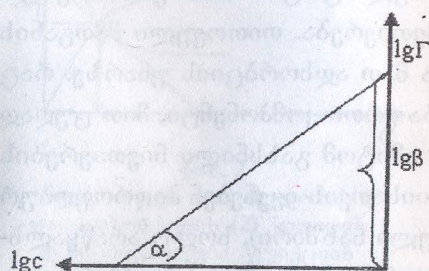
სადაც V – ხსნარის მოცულობაა ლიტრებში, m – აღსორბენტის მასა გრ-ში.

C_0, C – ხსნარის კონცენტრაცია აღსორბციამდე და აღსორბციის შემდეგ, მოლ/ლ.

საშუალო კონცენტრაციის ხსნარებიდან მყარ ზედაპირზე აღსორბციის ექსპერიმენტული მონაცემები ხშირად კარგად აისახება ფროინდლიხის განტოლებით:

$$\Gamma = \beta C^{1/n} \quad (5)$$

სადაც β და $1/n$ მუდმივებია. β - იცვლება ფართო ზღვრებში. მისი ფიზიკური არსი შემდეგში მდგომარეობს: როცა $C=1$, $\beta=\Gamma$ ე.ი. β გამოხატავს ადსორბციის სიდიდეს, როცა ხსნარის წონასწორული კონცენტრაცია უდრის 1 მოლ/ლ., $1/n$ - ახასიათებს იზოთერმის სწორ ხაზთან დაახლოვების ხარისხს და იცვლება 0,1 - 0,5-მდე.



ნახ. 3. ლოგარითმული იზოთერმა

ფროინდლის განტოლების მუდმივებს საზღვრავენ გრაფიკულად. განტოლების ლოგარითმული სახე

$$\lg \Gamma = \lg \beta + \frac{1}{n} \lg C$$

გამოიხატება სწორი ხაზით კოორდინატებში

$\lg \Gamma$ და $\lg C$ (ნახ. 3)

სწორი ხაზით ორდინატთა ღერძზე მოკვეთილი მონაკვეთი ტოლია - $\lg \beta$ -სი, ხოლო მის მიერ აბსცისთა ღერძთან შედგენილი კუთხის ტანგენსი უდრის $1/n$ -ს.

ექსპერიმენტული ნაწილი

1. ძმარმეავას ადსორბცია მყარი-ხსნარის სზღვარზე.

ძმარმეავას ადსორბციას ახდენენ 0,025M, 0,05M, 0,1M და 0,2M ხსნარებიდან. კონცენტრაციის (C_0) დაზუსტების მიზნით მათ ტიტრაცენ 0,1N NaOH ხსნარით ფენოლფტალეინის თანაობისას.

ოთხ კოლბაში ათავსებენ თითო გრამ გააქტიურებულ ნახშირს, ამატებენ 100-100 მლ აღნიშნული კონცენტრაციის ხსნარებს, მოურგებენ საცობებს და ათავსებენ მექანიკურ სანჯღრევზე. ნახევარი საათის შემდეგ ხსნარებს ფილტრაცენ და კვლავ ტიტრაცენ ძმარმეავას წონასწორული კონცენტრაციის (C) დასადგენად. ადსორბციის სიდიდეს ანგარიშობენ ფორმულით (4).

მიღებული შედეგები შეაქვთ დაკვირვების ცხრილში (1) და მუდმივების ნიშვნელობებს საზღვრავენ გრაფიკულად. (ნახ. 3)

ცხრილი 1

№	კონცენტრაცია მოლ/ლ	Γ მოლ/გრ	$\lg \Gamma$	$\lg C$	β	$1/n$

2. მყარი ადსორბენტის კუთრი ზედაპირის განსაზღვრა.

რეზინდერის მეთოდით საზღვრავენ 1M, 2M, 3M, და 4M (Co) ძმარმუჟავას ხსნარების ზედაპირულ დაჭიმულობას (σ_1). თითოეული ხსნარის 25 მლ ათავსებენ კოლბაში და უმატებენ თითო გრ გააქტიურებულ ნახშირს, ერთი საათის განმავლობაში ათავსებენ მექანიკურ სანჯღრევზე, ფილტრავენ და კვლავ საზღვრავენ მათ ზედაპირულ დაჭიმულობას (σ_2). σ_1 და C_0 -ის მნიშვნელობებით აგებენ ზედაპირული დაჭიმულობის იზოთერმს. მიღებული იზოთერმით და σ_2 -ის მნიშვნელობებით საზღვრავენ ხსნარების წონასწორულ კონცენტრაციებს (C). კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით ანგარიშობენ ადსორბციის სიდიდეს განტოლებით (4). მონაცემები შეაქვთ ცხრილში 2.

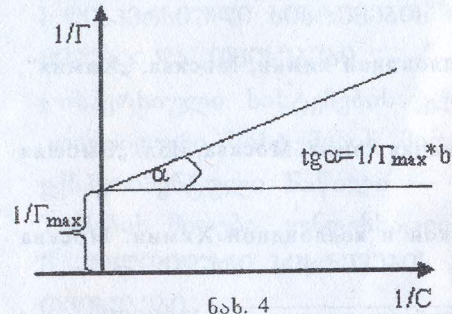
ცხრილი 2

№	კონცენტრაცია		ზედაპირული დაჭიმულობა		1/C	1/T
	ადსორბცი- ამდე C_0	ადსორბციის შემდეგ C	ადსორბციამდე σ_1	ადსორბციის შემდეგ σ_2		

ადსორბენტის ხვედრითი ზედაპირის განსაზღვრა ხდება ფორმულით

$$S_{\text{ბგ}} = \Gamma_{\text{max}} S_0 N$$

სადაც N - ავოგადროს რიცხვია, S_0 - ზედაპირის ფართი, რომელიც ერთ მოლეკულას უკავია ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე (ძმარმუჟავისთვის ტოლია $30 \cdot 10^{-16}$ სმ²-ის). Γ_{max} საზღვრავენ ლენგმიურის განტოლებით.



ნახ. 4
ლენგმიურის განტოლების სწორხაზოვანი სახე კოორდინატებში 1/Gamma და 1/C

$$\Gamma = \Gamma_{\text{max}} \frac{KC}{1+KC} \quad (7)$$

სადაც C - ხსნარის წონასწორული კონცენტრაციაა. K - მუდმივა, რომელიც ახასიათებს ადსორბატ-ადსორბენტს შორის ურთიერთქმედების ენერგიას.

ლენგმიურის განტოლება უნდა გარდაიქმნას ასე:

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\text{max}}} + \frac{1}{\Gamma_{\text{max}}} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{C} \quad (8)$$

ეს არის სწორი ხაზის განტოლება $\frac{1}{\Gamma}$ და $\frac{1}{C}$ კოორდინატებში (ნახ. 4). სწორი ხაზით ორდინატთა ღერძზე მოკვეთილი მონაკვეთი $\frac{1}{\Gamma_{\text{max}}}$ -ის ტოლია.

ლიტერატურა

- 1 С. С. Воюцкий Курс коллоидной химии. Москва, Изд. „Химия“, 1964 г.
- 2 Ю. Г. Фролов Курс коллоидной химии, Москва, „Химия“, 1982 г.
- 3 А. Г. Пасинский Коллоидная химия. Москва, Изд. „Высшая школа“, 1963 г.
- 4 Практикум по физической и коллоидной Химии. Москва „Просвещение“, 1972 г.
- 5 Практикум по коллоидной химии, под ред. И. С. Лаврова/ Москва, Изд. „Высшая школа“, 1983 г.
- 6 Д. А. Фридрихсбер Курс коллоидной химии. Ленинград. „Химия“, 1984 г.
- 7 ი. ნ. პუტილოვა. სახელმძღვანელო პრაქტიკულ მეცადინეობისათვის კოლოიდურ ქიმიაში. თბილისი, ტექნიკა და შრომა, 1955 წ.
- 8 ლაბორატორიულ სამუშაოთა კრებული კოლოიდურ ქიმიაში/ ც. ნაჭყებიას რედაქციით. თბილისი 1989 წ.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვობა	3
I დისპერსიული სისტემების დახასიათება, მიღება და თვისებები	4
დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაცია	6
კოლოიდური სისტემების მიღება	8
ექსპერიმენტული ნაწილი	13
ზომების მიღება კონდენსაციის მეთოდით	13
II კოლოიდური სისტემების ელექტრონული თვისებები	15
ექსპერიმენტული ნაწილი	19
ელექტროკინეტიკური პოტენციალის განსაზღვრა ელექტროფორეზით	19
III დისპერსიული სისტემების მოლეკულურ-კინეტიკური თვისებები	22
სედიმენტაცია და სედიმენტაციური ანალიზი	23
ექსპერიმენტული ნაწილი	28
თიხის სუსპენზიის სედიმენტაციური ანალიზი	28
IV დისპერსიული სისტემების მდგრადობა და კოაგულაცია	30
ექსპერიმენტული ნაწილი	38
კოლოფონის ზოლის კოაგულაციის ზღურბლის დადგენა	38
რკინის ჰიდროჟენის ზოლის კოაგულაციის ზღურბლის დადგენა	39
ჟელატინის „რკინის რიცხვის“ განსაზღვრა	39

V დისპერსიული სისტემების	
სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებები	40
ექსპერიმენტული ნაწილი	45
სიბლანტის დამოკიდებულება	
კონცენტრაციაზე	47
სიბლანტის დამოკიდებულება	
ტემპერატურაზე	47
სიბლანტის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე	48
სუსპენზიის გადაძვრის ზღვრული სტატიკური	
ძაბვის განსაზღვრა	49
VI ზედაპირული მოვლენები	51
ადსორბცია	54
ექსპერიმენტული ნაწილი	61
ძმარმეკავას ადსორბცია მყარი-ხსნარის	
საზღვარზე	61
მყარი ადსორბენტის კუთხი ზედაპირის	
განსაზღვრა	62
ლიტერატურა	64

იბეჭდება ავტორთა მიერ
წარმოღბენილი სახით

გადაეცა წარმოებას 16.02.2006. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.03.2006.
ქალაქის ზომა 60X84 1/16. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 4,5. სააღრიცხვო-
საგამომცემლო თაბახი 3,5. ტირაჟი 100 ეგზ. შეკვეთა №

