ნ.აბულაძე, მ.რაზმაძე

კოლოიდური ქიმია

დისპერსიული სისტემები

II ნაწილი

“ტექნიკური უნივერსიტეტი”

წ ი ნ ა ს ი ტ ყ ვ ა ო ბ ა

კოლოიდური ქიმიის სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილი - დისპერსიული სისტემები პირველი ნაწილის ლოგიკური გაგრძელებაა. კოლოიდური ქიმია ამთავრებს ზოგადქიმიურ განათლებას, რომლის შემდეგ სწავლის შემდგომ ეტაპზე სტუდენტს შეუძლია გამოიყენოს ფიზიკურ-კოლოიდური ქიმიის კანონზომიერებები და კვლევის მეთოდები ნებისმიერი კონკრეტული ამოცანის გადაჭრის მიზნით.

მიკროჰეტეროგენული სისტემები მაღალგანვითარებული ფაზათა გამყოფი ზედაპირებით ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში და უდიდესი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე ტექნიკაში. არ არის სახალხო მეურნეობაში მრეწველობის დარგი, რომელსაც ამა თუ იმ ხარისხით საქმე არ ქონდეს კოლოიდურ სისტემებთან და პროცესებთან.

კოლოიდურ-ქიმიური კანონზომიერებები და კვლევის მეთოდები წარმოადგენს რიგი ტექნიკური და ტექნოლოგიური პროცესების საფუძველს, რომლებსაც შეისწავლიან კერამიკული და სილიკატური, სამკურნალო პრეპარატების წარმოების, ბიოტექნოლოგიის, ეკოლოგიის, კვების პროდუქტების ტექნოლოგიის სპეციალობის ბაკალავრები.

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ფიზიკური და კოლოიდური ქიმიის კათედრაზე უკანასკნელი დამხმარე სახელმძღვანელო კოლოიდურ ქიმიაში 1992 წ. გამოვიდა, რომელიც უკვე ბიბლიოგრაფიულ იშვიათობას წარმოადგენს.

წინამდებარე სახელმძღვანელოში აღწერილია დისპერსიული სისტემების ზოგადი დახასიათება, მიღების მეთოდები, მოლეკულურ-კინეტიკური, ოპტიკური, სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებები, კოლოიდური სისტემების მდგრადობისა და კოაგულაციის თანამედროვე თეორიები, მაღალმოლეკულური ნაერთების - მოლეკულური კოლოიდების ზოგადი დახასიათება და თვისებები, მიკროჰეტეროგენული სისტემების – სუსპენზიებისა და ემულსიების, აეროზოლებისა და ქაფების დახასიათება და თვისებები, კვლევის კოლოიდურ-ქიმიური მეთოდების საფუძვლები.

სახელმძღვანელოს საფუძველს წარმოადგენს კოლოიდური ქიმიის ლექციების კურსი, რომელიც უკანასკნელი 10 – 15 წლის მანძილზე იკითხება ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის.

სახელმძღვანელოს შედგენისას ავტორებმა ისარგებლეს რუსულ ენაზე არსებული ორიგინალური სახელმძღვანელოებითა და მონოგრაფიებით, ასევე ციტირებულ ლიტერატურაში მოტანილი ნახაზებითა და სხვა მასალებით.

სახელმძღვანელო დაწერილია კოლოიდური ქიმიის კურსის მოქმედი პროგრამის შესაბამისად. მასში განხილულია კოლოიდური ქიმიის ძირითადი თავების ყველა საკვანძო საკითხი. იგი გამიზნულია ქიმიური და ბიოტექნოლოგიის, ეკოლოგიის, სამრეწველო ფარმაციის, ფარმაცევტული პროდუქტების ექსპერტიზის, მარკეტინგისა და მენეჯმენტის, კვების პროდუქტების ტექნოლოგიისა და ექსპერტიზის სპეციალობის ბაკალავრებისათვის. სახელმძღვანელო შეიძლება გამოიყენოს ამავე სპეციალობების მაგისტრანტებმა და

კოლოიდური ქიმიის საკითხებით დაინტერესებულმა სხვა პირებმა.

სახელმძღვანელოს ავტორები მადლობას ვუხდით რეცენზენტს სასარგებლო რჩევებისა და სამართლიანი შენიშვნებისათვის, რომელიც გათვალისწინებულია სახელმძღვანელოში. ცხადია, სახელმძღვანელოს პირველი გამოცემა უნაკლო არ იქნება, ყველა სამართლიან შენიშვნას სიამოვნებით მივიღებთ და გავითვალისწინებთ.

ავტორები

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

უკვე აღნიშნული იყო, რომ თანამედროვე კოლოიდური ქიმია არის მეცნიერება ზედაპირული მოვლენებისა და დისპერსიული სისტემების შესახებ.

დისპერსიული ეწოდება სისტემას, რომელშიც ერთი ნივთიერება გარკვეული ფორმისა და ზომის ნაწილაკებადაა დაწვრილმანებული და განაწილებულია მეორეში. დისპერსიულობა (დაწვრილმანება) კოლოიდურ მდგომარეობაში მყოფი ნივთიერების ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებელია. იგი, ამ სიტყვის ფართო გაგებით, მოლეკულურ, ატომურ, ბირთვულ დონეზე ახასიათებს ნებისმიერ ნივთიერებას. კოლოიდურ ქიმიაში დისპერ-სიულობის ცნება სხეულთა ზომების საკმაოდ ფართო ზღვრებში ვრცელდება: ჩვეულებრივი მოლეკულების ზომაზე მეტი და შეუიარაღებელი თვალისთვის ხილული ნაწილაკები.

დისპერსიული სისტემები კოლოიდური ქიმიის ყველაზე მეტად ტიპიური და ამავე დროს, რთული ობიექტებია, რადგან მათში თავს იჩენს ზედაპირული

მოვლენების უმრავლესობა. დისპერსიულ სისტემებს წარმოადგენს ჩვენი გარემომცველი რეალური სხეულების უმეტესობა.

ყველა სხეული, როგორც წესი, პოლიკრისტალური, ბოჭკოვანი, ფხვიერი, ფენოვანი, ფოროვანი ნივთიერებაა, რომლებიც შედგება მჭიდა მასალებისა და შემავსებლებისაგან, იმყოფება სუსპენზიის, პასტის, ემულსიის, ქაფის და მტვრის მდგომარეობაში. ნიადაგი, მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროს სხეულები, ღრუბელი და ნისლი, წარმოების მრავალი პროდუქტი, მათ შორის სამშენებლო მასალები, პოლიმერები, ქაღალდი, ტყავი, ქსოვილები, კვების პროდუქტები – ყველა ესენი დისპერსიული სისტემებია.

3. კოლოიდური სისტემების მიღება

დისპერსიული სისტემების მრავალსახეობა მათი მიღების მრავალრიცხოვანი მეთოდებიდან გამომდინარეობს. დისპერგაცია და კონდენსაცია თავისუფალდისპერსიული სისტემების მიღების ძირითადი მეთოდებია, რომელთა საშუალებითაც მიიღება სუსპენზიები, ემულსიები, ზოლები და ა.შ.

დისპერგირება დიდი ნაწილაკების უფრო მცირე ზომის ნაწილაკებად დაწვრილმანებაა, *კონდენსაცია* კი - ჰომოგენური სისტემის მოლეკულების, ატომების ან იონების ასოციაციის (გაერთიანება) შედეგად მაღალდისპერსიული ჰეტეროგენული სისტემის წარმოქმნა. განვიხილოთ თითოეული მეთოდი ცალ-ცალკე.

3.1. დისპერგაციის მეთოდი

თანამედროვე ტექნიკაში მყარი სხეულების დისპერგირება ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ და მრავალტონაჟიან პროცესს წარმოადგენს. მარცვლეულის, ცემენტის, ნახშირის, ლაქებისა და საღებრების პიგმენტების დაფქვა, სამთო მადნების მოპოვება და დაფქვა ფლოტაციური გამდიდრებისა და გადამუშავების წინ დისპერგაციის პროცესს მიეკუთვნება.

რომ დავარღვიოთ (დავშალოთ) მყარი სხეული ან სითხე და მივიღოთ ახალი ზედაპირი, საჭიროა დავძლიოთ ამ სხეულში მოქმედი კოჰეზიური ძალები, რომლებიც იწვევს სხეულის მთლიანობის შენარჩუნებას.

დისპერგირებისას კონდენსირებული ნივთიერება თავიდან მოცულობით დეფორმაციას განიცდის და მხოლოდ ამის შემდეგ გარკვეული ზემოქმედებით ხდება მისი დაშლა. შესაბამისად, დისპერგირებისთვის საჭირო მუშაობა იყოფა ორ ნაწილად: ერთი ნაწილი იხარჯება სხეულის მოცულობით დეფორმაციაზე, მეორე კი – ახალი ზედაპირის წარმოქმნაზე.

დეფორმაციის მუშაობა სხეულის მოცულობის პროპორციულია

$$W_{დეფ} = KV \qquad (3.1)$$

სადაც არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც ერთეულოვანი მოცულობის მქონე კონდენსირებული ნივთიერების დეფორმაციის მუშაობის ტოლია, V კი - სხეულის მოცულობა.

დისპერგაციისას ახალი ზედაპირის წარმოქმნის მუშაობა ზედაპირის ნაზრდის პროპორციულია და შეიძლება ასე გამოისახოს:

ჭს= შ (3.2)

სადაც ახალი ზედაპირის ფართობის ერთეულის წარმოქმნაზე დახარჯული მუშაბა, ანუ ზედაპირული

დაჭიმულობაა. დისპერგირებისთვის საწირო სრული მუშაობა გამოისახება რებინდერის განტოლებით, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

ჭ=ჭდეფ+ჭს= V+ შ (3.3)

მოცულობითი დეფორმაცია სხეულის მოცულობის პროპორციულია, მოცულობა - V~დ^3, სადაც დ სხეულის ხაზოვანი ზომაა. ზედაპირის ცვლილება მისი საწყისი ზედაპირის პროპორციულია, თავის მხრივ, შ~დ^2, ამიტომ შეიძლება დავწეროთ :

ჭ = $_1$დ^3 + $_2$დ^2 ^{2} დ ($_1$დ + $_2$ (3.4)

ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ დიდი ზომის სხეულების დისპერგირებისას შეიძლება ზედაპირის წარმოქმნის მუშაობის უგულებელყოფა, მაშინ დისპერგირების მუშაობა დეფორმაციის მუშაობით განისაზღვრება. მცირე ზომის სხეულების შემთხვევაში კი შეიძლება დეფორმაციის მუშაობა უგულებელვყოთ და დისპერგაციის სრული მუშობა ძირითადად ახალი ზედაპირის წარმოქმნის მუშაობით, ანუ კოჰეზიური ძალების დაძლევაზე დახარჯული მუშაობით განისაზღვრება.

დაწვრილმანებისას მასალა იშლება პირველ რიგში სიმტკიცის დეფექტების ადგილებში (მაკრო და მიკრო ბზარები), ამიტომ დაწვრილმანების შესაბამისად მასალის სიმტკიცე იზრდება, რაც მისი შემდგომი დაწვრილმანებისათვის საჭირო ენერგიის ხარჯს ზრდის.

მასალის დაწვრილმანება შეიძლება გაადვილდეს რებინდერის ეფექტის გამოყენებით. ეს არის მასალის სიმტკიცის ადსორბციული შემცირება, რაც ხდება ზედაპირულად აქტიური ნითიერებების მეშვეობით. რებინდერის მიხედვით, მყარი სხეულის კრისტალური მესრის დეფექტიან ან, როგორც იტყვიან, სუსტ ადგილებში ვითარდება მიკრობზარები, რომლებიც სხეულის მექანიკურ სიმტკიცეს

ამცირებს. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება აღწევს ბზარებში და წარმოქმნის ამ ნივთიერების ადსორბციულ შრეს, რაც იწვევს ზედაპირული ენერგიისა და, შესაბამისად, მყარი სხეულის მექანიკური დაწვრილმანებისთვის საჭირო მუშაობის შემცირებას.

დისპერგაციის მეთოდით დისპერსიული სისტემების მიღებისათვის გამოიყენება მექანიკური მოწყობილობები: სამსხვრეველა, როდინი, სანჯღრეველა, მფრქვევარები, ცენტრიფუგა, მბრუნავი დისკები და ა.შ.

მყარი და თხევადი ფაზების უფრო წვრილად დისპერგირებისათვის გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის წისქვილები. ლაბორატორიებსა და სამრეწველო პირობებში დისპერგირებას უმეტესად ბურთულებიან წისქვილში ახდენენ. იგი შედგება ცილინდრული ფორმის დოლისაგან, რომელიც ნაწილობრივ შევსებულია იმავე მასალისაგან დამზადებული ბურთულებით (ფოლადი, აგატი, ფაიფური). წისქვილში შესაძლებელია მშრალი და სველი დაფქვა. სველი დაფქვისას ცილინდრში ათავსებენ დასაწვრილმანებელი ნივთიერების უხეშ დისპერსიას, სადისპერსიო გარემოს და სტაბილიზატორს. ცილინდრის ბრუნვისას ბურთულები ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით ეკვრიან მის კედელს და წარმოქმნილი ხახუნის ძალის გავლენით გარკვეულ სიმაღლეზე აწევის შემდეგ, კვლავ წყდებიან და ეცემიან ქვემოთ დარჩენილ ბურთულებს, რაც იწვევს მათ შორის მოთავსებული ნივთიერებების ცვეთასა და მსხვრევას. კარგი შედეგის მისაღებად წისქვილში ბურთულების მოცულობა საერთო მოცულობის 30–40%-ს, ხოლო სადისპერგაციო მასალის მოცულობა – 20%-ს უნდა შეადგენდეს.

მშრალი დაფქვის შემთხვევაში 50 მიკრონზე მცირე ზომის ნაწილაკების მიღება შეუძლებელია. სველი დაფქვის შემთხვევაში კი სტაბილიზატორის თანაობისას შეიძლება მივიღოთ დისპერსიები, რომელთა ნაწილაკების ზომა

კოლოიდურთან ახლოა. ბურთულებიან წისქვილს სხვა წისქვილებთან შედარებით ახასიათებს რიგი უპირატესობანი: დაფქვა მიმდინარეობს დახურულ გარემოში აქროლადი გამხსნელის დანაკარგის გარეშე, წისქვილის მომსახურება ძალიან მარტივია. მის ნაკლს წარმოადგენს ის, რომ მუშაობისას ხდება ბურთულების ცვეთა, რაც მიღებული დისპერსიის გაჭუჭყიანებას იწვევს. გარდა ამისა, იგი დაბალი წარმადობისაა.

ამჟამად ენერგიის დანახარჯის შემცირების მიზნით იყენებენ ახალ აპარატებს, კერძოდ, წისქვილებს, რომლებშიც დისპერგირება გაადვილებულია პერიოდული მექანიკური რხევებით, პლანეტარულ და ჭავლიან წისქვილებს. ამ უკანასკნელში მილსადენიდან მაღალი წნევით გამომდინარი უხეშდისპერსიული სუსპენზიის ორი ჭავლი კვეთს ერთმანეთს, რასაც დისპერსიულობის ხარისხის გაზრდა ახლავს.

ლიოფილური კოლოიდური სისტემები წარმოიქმნება თავისთავადი დისპერგირებით შესაბამის გამხსნელში. პროცესი მიმდინარეობს სისტემის თავისუფალი ენერგიის შემცირების ხარჯზე. ამიტომ ეს სისტემები თერმოდინამიკურად მდგრადი სისტემებია, რომლებსაც ხანგრძლივი დროით არსებობა შეუძლია.

ლიოფობური კოლოიდური სისტემების მისაღებად ფაზის დისპერგირებისათვის საჭიროა გარკვეული მუშაობის შესრულება. ამის გამო ეს სისტემები თერმოდინამიკურად არამდგრადია, ფლობენ ჭარბ თავისუფალ ენერგიას, რომლის სწრაფვა თავისთავადი შემცირებისაკენ იწვევს ნაწილაკების შეწებებას და კუთრი ზედაპირის შემცირებას.

დისპერგაციის მეთოდით ლიოფობური კოლოიდური სისტემების მიღება ხდება სუსპენზიებისა და ემულსიებისაგან სპეციალური კონსტრუქციის წისქვილებში. მათი მუშაობის პრინციპი ემყარება უძრავ სტატორსა და დიდი სიჩქარით

მოძრავ როტორს შორის არსებულ ვიწრო ღრეჩოში ან მოძრავ დისკებს შორის მოთავსებულ სუსპენზიასა და ემულსიაში ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით გამგლეჯი ზემოქმედების წარმოქმნას., რაც იწვევს ნივთიერების დაწვრილმანებას კოლოიდური ზომის ნაწილაკებადე.

ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ულტრაბგერითი და ელექტრული მეთოდები. ულტრაბგერით მეთოდს იმ შემთხვევაში მიმართავენ, როდესაც სადისპერგაციო ნივთიერებას მცირე სიმტკიცე ახასიათებს. მეთოდის მექანიზმი საბოლოოდ არ არის დადგენილი. ერთ-ერთი ახსნა ასეთია: დისპერგირების პროცესში სითხეში ულტრაბგერითი ტალღების გავლისას სხეულის დამშლელი ზემოქმედება აღიძვრება, როგორც სწრაფადმონაცვლეობითი ლოკალური (ადგილობრივი) შეკუმშვა-გაფართოების, ისე კავიტაციის (სითხეში გახსნილი ჰაერით შევსებული ღრუების წარმოქმნა და გაქრობა) შედეგად. დროის უმცირეს მონაკვეთში წნევის მკვეთრი ლოკალური ცვლილება (1000 ატმ. რიგის) იწვევს არა მარტო სითხის, არამედ მყარი სხეულის დანაწევრებას.

ელექტრული მეთოდი ემყარება სადისპერსიო გარემოში მოთავსებულ ლითონის ორ ელექტროდს შორის ვოლტას რკალის წარმოქმნას. მაღალ ტემპერატურაზე ხდება ლითონის გაფრქვევა უმცირეს ნაწილაკებად და ცივ გარემოში მათი შეწებების (კონდენსაციის) შედეგად მიიღება კოლოიდური ხსნარი – ზოლი. ამ მეთოდს კომბინირებული მეთოდი ეწოდება (ხდება ჯერ დისპერგირება, შემდეგ კი – კონდენსაცია).

დისპერგაციის მეთოდით ზოლების მიღებისას ადგილი აქვს ენერგიის დიდ ხარჯს. გარდა ამისა, ძალიან მაღალდისპერსიულობის მიღწევა შეუძლებელია. ამიტომ უპირატესობა კონდენსაციის მეთოდს ენიჭება.

3.2. კონდენსაციის მეთოდი, მიცელას აღნაგობა

კონდენსაციის მეთოდი გარედან მუშაობის ხარჯვას არ მოითხოვს. პირობების შერჩევისას ამ მეთოდით შეიძლება ნებისმიერი დისპერსიულობის სისტემა მივიღოთ. არსებობს ფიზიკური და ქიმიური კონდენსაციის მეთოდები. ფიზიკური კინდენსაციის მნიშვნელოვანი ხერხებია ორთქლის კონდენსაცია და გამხსნელის შეცვლა. ორთქლის კონდენსაციის თვალსაჩინო მაგალითია ნისლის წარმოქმნა. ლიოზოლები მიიღება დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო გარემოს წარმომქმნელი ნივთიერებების ორთქლის ერთდროული კონდენსაციით ცივ ზედაპირზე. სისტემის პარამეტრების შეცვლისას, კერძოდ, ტემპერატურის შემცირებისას ორთქლის წნევა შეიძლება მეტი აღმოჩნდეს სითხის ან მყარი ფაზის ზედაპირზე წონასწორულ წნევაზე, რის გამოც აირად ფაზაში წარმოიქმნება ახალი თხევადი ფაზა, ამის შედეგად სისტემა გახდება ჰეტეროგენული, წარმოიქმნება აეროზოლი. ამ ხერხით მიღებული სისტემები უმეტესად პოლიდისპერსიულია.

გამხსნელის შეცვლის მეთოდი დაფუძნებულია სისტემის პარამეტრების ისეთ ცვლილებაზე, რომლის დროსაც კომპონენტების ქიმიური პოტენციალი სადისპერსიო გარემოში წონასწორულზე მეტი ხდება და წონასწორობისკენ სწრაფვის ტენდენცია იწვევს სისტემაში ახალი ფაზის წარმოქმნას. ამ მეთოდში, ორთქლის კონდენსაციისაგან განსხვავებით, ცვლიან სადისპერსიო გარემოს შედგენილობას. მაგალითად, გოგირდის ნაჯერ სპირტხსნარზე დიდი რაოდენობის წყლის დამატებით მიღებული სპირტ-წყალხსნარი გადაჯერებული აღმოჩნდება.

გოგირდის მოლეკულების აგრეგაციის შედეგად ხდება ახალი ფაზის წარმოქმნა და მიიღება გოგირდის ჰიდროზოლი.

ქიმიური კონდესაციის მეთოდი ემყარება გადაჯერებული ხსნარებიდან ახალი ფაზის გამოყოფას. ოღონდ, ნივთიერება, რომელიც წარმოქმნის დისპერსიულ ფაზას, მიიღება ქიმიური რეაქციის საფუძველზე. ნებისმიერი ქიმიური რექცია, რომელიც ახალი ფაზის წარმოქმნით მიმდინარეობს გამოდგება კოლოიდური სისტემების მისაღებად გამოდგება. ეს რეაქციები შეიძლება იყოს: დაჟანგვის, აღდგენის, მიმოცვლის, ჰიდროლიზის.

ზოლის მიღების ნებისმიერი მეთოდის გამოყენებისას აუცილებლად დაცული უნდა იქნას ორი ძირითადი პირობა:

1) ნივთიერება, რომლის ზოლის მიღებაც გვინდა, არ უნდა იხსნებოდეს სადისპერსიო გარემოში. ეს განაპირობებს სისტემის ჰეტეროგენულობას.

2) აგრეგატულად მდგრადი ზოლის მისაღებად აუცილებელია სისტემაში არსებობდეს ნივთიერება, რომელიც იწვევს წარმოქმნილი დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების სტაბილიზაციას. ამ ნივთიერებას სტაბილიზატორი ეწოდება. იგი შეიძლება იყოს როგორც გარედან სპეციალურად შეტანილი ნივთიერება, ისე რეაქციის რომელიმე რეაგენტი ან პროდუქტი. სტაბილიზატორები, თავიანთი ბუნებიდან გამომდინარე, ზოლების სტაბილიზაციას სხვადასხვა მექანიზმით იწვევენ. სტაბილიზატორი ელექტროლიტი დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო გარემოს საზღვარზე წარმოქმნის ორმაგ ელექტრულ შრეს (ოეშ). ორმაგი ელექტრული შრის აგებულება და მასში იონების განაწილება იწვევს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების დამუხტვას ერთნაირი ნიშნით, რაც უზრუნველყოფს მათ ურთიერთგანზიდვას და ამის საფუძველზე ზოლის აგრეგატულ მდგრადობას.

განვიხილოთ ვერცხლის იოდიდის ჰიდროზოლის მიღება ქიმიური კონდენსაციის მეთოდით მიმოცვლის რეაქციის საფუძველზე, რომელიც მიმდინარეობს წყალხსნარებში:

$$AgNO_3 + KI \rightarrow AgI \downarrow + KNO_3$$

AgI წყალში უხსნადი ნივთიერებაა, ამიტომ ის რეაქციის შედეგად მეორე ფაზის სახით გამოიყოფა. ე.ი. ზოლის მიღების პირველი პირობა დაცულია. სისტემაში კოლოიდური დისპერსიულობის შენარჩუნების მიზნით საჭიროა სტაბილიზატორის გამოყენება. სტაბილიზატორად შეიძლება გამოდგეს ორივე რეაგენტი, თუ რომელიმე მათგანს ავიღებთ ჭარბი რაოდენობით.

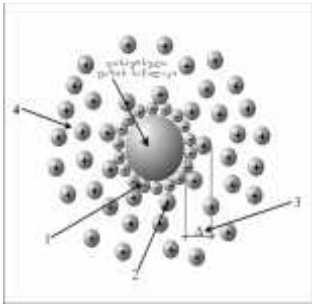
AgI -ის სიჭარბისას მ რაოდენობით AgI-ის მოლეკულის ასოციაციის შედეგად (მ ათეულობით ათასი მოლეკულა) წარმოიქმნება დიდი ზომის აგრეგატი. მის ზედაპირზე ხსნარიდან ადსორბირდება ნ რაოდენობით იოდის იონი $-I^-$, რომელსაც პოტენციალგანმსაზღვრელი იონი ეწოდება. აგრეგატი იოდის იონებთან ერთად წარმოქმნის ბირთვს, რომელსაც აქვს უარყოფითი მუხტი. ბირთვი ხსნარიდან მიიზიდავს $ნ$ რაოდენობის $^{+--}$ იონს. ამ იონებს საწინააღმდეგო იონები ეწოდება. საწინააღმდეგო იონების გარკვეული (ნ-ხ) რაოდენობა გარდა ელექტროსტატიკური ძალებისა, მიიზიდება მეორე – სპეციფიკური ადსორბციული (ვან-დერ-ვაალსის) ძალებით ბირთვთან ახლოს და წარმოქმნის ეგრეთ წოდებულ ადსორბციულ შრეს. ადსორბციული შრის იონები იწვევენ ბირთვის მუხტის ნაწილობრივ კომპენსაციას. ბირთვს ადსორბციულ შრესთან ერთად კოლოიდური ნაწილაკი ეწოდება. ნაწილაკს გააჩნია პოტენციალგანმსაზღვრელი იონის (ამ შემთხვევაში უარყოფითი) მუხტი. საწინააღმდეგო იონების დანარჩენი X რაოდენობა თბური მოძრაობის

გამო იმყოფება ბირთვისგან მოშორებით დიფუზიურ შრეში და მიიზიდება მხოლოდ ელექტროსტატიკური ძალებით. კოლოიდურ ნაწილაკს დიფუზიურ შრესთან ერთად მიცელა ეწოდება. მიცელა ელექტრონეიტრალურია. მისი სტრუქტურა გამოსახულია ნახ. 3.1 –ზე.

სტაბილიზატორად Ag_3-ის გამოყენების შემთხვევაში კოლოიდურ ნაწილაკს ექნება დადებითი მუხტი, რადგან პოტენციალგანმსაზღვრელი იონების როლს შეასრულებს ვერცხლის იონები.

ზოგადად, პოტენციალგანმსაზღვრელი იონის როლს ასრულებს სტაბილიზატორი ელექტრლიტის ის იონი, რომელიც შედის აგრეგატის შემადგენლობაში (პანეტ - ფაიანსის წესი).

დაჟანგვის რეაქციით ზოლის მიღების უმარტივესი მაგალითია გოგირდის ჰიდროზოლის მიღება გოგირდწყალბადის დაჟანგვით წყლის გარემოში



ნახ.3.1. მიცელის აღნაგობა

$$2\ _2 \ + \ _2 \longrightarrow 2 + 2\ _2$$

ჰიდროლიზის რეაქციით კოლოიდური სისტემების მიღების მაგალითია მძიმე ლითონების ჰიდროქსიდების ზოლების სინთეზი. მაგალითად, რკინის ჰიდროქსიდის ზოლი მიიღება, თუ მდუღარე წყალში ჩავუმატებთ მცირე რაოდენობით $FeCl_3$

$$FeCl_3 + 3\ _2 \longrightarrow Fe(\ )_3 + 3\ HCl$$

დუღილი ხელს უწყობს სისტემიდან ჩლ-ის მოცილებას წყლის ორთქლთან ერთად. სტაბილიზატორის როლს ასრულებს ე ჩლ, რომელიც წარმოიქმნება ეჩლ$_3$-ის არასრული ჰიდროლიზის შედეგად.

$$\longrightarrow \text{ეჩლ}_3 + {}_2 \qquad \text{ე ჩლ} +$$

2 ჩლ

$$\longrightarrow \qquad \text{ე ჩლ} \qquad \text{ე}^{+} +$$

ჩლ$^{-}$

ე( )$_3$-ის ჰიდროზოლის მიცელა ასე გამოისახება:

$$\{[\text{მ} \quad \text{ე}(\ )_3]\text{ნ} \quad \text{ე}^{+}(\text{ნ} - \text{ხ})\ \text{ჩლ}^{-}\}^{\text{ხ}+}$$

ხჩლ$^{-}$

3.3. კოლოიდური სისტემების გასუფთავება

ძალიან ხშირად ამა თუ იმ მეთოდით მიღებული ლიოზოლი შეიცავს დაბალმოლეკულურ მინარევებს, რომლებიც იწვევს ზოლის ასტაბილიზაციას – მისი აგრეგატული მდგრადობის დარღვევას (კოაგულაციას). ამიტომ აუცილებელია ამ მინარევებისაგან ზოლების გაწმენდა.

კოლოიდური ქიმიის უძველესი მეთოდები, რომლებსაც დაბალმოლეკულერი მინარევებისაგან ლიოზოლების გასაწმენდად იყენებენ, არის დიალიზი და ულტრაფილტრაცია.

დიალიზი არის ნახევად გამტარი ტიხრით შეზღუდული დიფუზია. ხელსაწყო დიალიზისათვის – დიალიზატორი წარმოადგენს ნახევრად გამტარი მასალისაგან (მემბრანა) დამზადებულ პარკს, რომელშიც ათავსებენ სადიალიზო სითხეს. პარკი ჩაშვებულია ჭურჭელში, რომელშიც ცირკულირებს წყალი.

დაბალმოლეკულერი ნივთიერებების მოლეკულები გადიან მემბრანაში, კოლოიდური ნაწილაკები ვერ აღწევენ მემბრანის ფორებში და რჩება პარკში გაწმენდილი კოლოიდური ხსნარის სახით. ნახევრად გამტარი ტიხრის სახით, ჩვეულებრივ, უფრო ხშირად გამოიყენება პერგამენტი, ცელოფანი, კერამიკული ფილტრები, მემბრანები, რომლებიც დამზადებულია ცელულოზის ნიტრატის ხსნარისაგან – კოლოდიუმისაგან. დიალიზი საკმაოდ ხანგრძლივი პროცესია. დიალიზის ინტენსიფიკაცია ხდება: იმ ზედაპირის გაზრდით, რომელზეც მიმდი-ნარეობს პროცესი, სადიალიზო სითხის ფენის შემცირებით, გარე სითხის (წყლის) უწყვეტი ცვლით და გათბობით, რომელიც ხელს უწყობს დიფუზიას.

დღეისათვის არსებობს სრულყოფილი კონსტრუქციის მრავალი დიალიზატორი, რომლებიც უზრუნველყოფს დიალიზის პროცესის დაჩქარებას.

ელექტროდიალიზი. ლიოზოლები მინარევების სახით ძირითადად ელექტროლიტებს შეიცავს. დიალიზის პროცესი შეიძლება დაჩქარდეს, თუ სადიალიზო სითხეს მოვათავსებთ მუდმივ ელექტრულ ველში. არსებობს მრავალი სხვადასხვა კონსტრუქციის ელექტროდიალიზატორი. ელექტროდიალიზი უფრო ეფექტურია, თუ ზოლი წინასწარ გასუფთავებულია ჩვეულებრივ დიალიზატორში.

ელექტორდიალიზს ხშირად იყენებენ კონცენტრი-რებული სუსპენზიების, პასტების გრუნტისა და მინერა-ლებისაგან მარილების მოსაცილებლად, ზღვის, ტბისა და მდინარის წყლის გასამტკნარებლად, სამრეწველო ჩამდინარე წყლების, ვაქცინების, შრატისა და მრავალი დისპერსიული სისტემის გასაწმენდად.

ულტრაფილტრაცია. ხშირად კვლევითი მიზნებისა და საწარმოო - ტექნიკური ამოცანების გადასაჭრელად აუცილებელია დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო

გარემოს სრული დაცილება. ასეთ გაყოფას ახორციელებენ ულტრაფილტრაციისა და ცენტრიფუგირების მეშვეობით.

ულტრაფილტრაცია ეწოდება დისპერსიული ფაზის სადისპერსიო გარემოსაგან განცალკევების პროცესს, როდესაც ნახევრად გამტარი მემბრანა ასრულებს კოლოიდური ნაწილაკებისა და მაკრომოლეკულების შემაკავებელი ფილტრის როლს.

ულტრაფილტრაციის განხორციელება შეიძლება ორი გზით:

ა) გასაფილტრი სითხის სვეტის ჰიდროსტატიკური წნევის გავლენით;

ბ) ხელოვნურად შექმნილი წნევათა სხვაობის მეშვეობით. პირველი ხერხით ულტაფილტრაცია ძალიან ნელა მიმდინარეობს, რის გამოც მას პრაქტიკულად არ იყენებენ. წნევათა სხვაობას აღწევენ ან ფილტრის ქვეშ გაუხშოების შექმნით (ულტრაფილტრაცია ვაკუუმში), ან ხელოვნური წნევით გასაფილტრ ხსნარზე (ულტრაფილტრაცია წნევის ქვეშ).

დიდი წნევების გამოყენება განსაკუთრებით ხშირად ხდება მაღალმოლეკულური ნაერთების ხსნარების ფილტრაციის დროს, რომლებიც ჭეშმარიტ ხსნარებსა და ზოლებზე ბევრად უფრო ნელა იფილტრება.

ულტრაფილტრაციისათვის მრავალი ხელსაწო არსებობს. რადგან პროცესი ყოველთვის წნევის ქვეშ მიმდინარეობს, ყველა ხელსაწყოში მემბრანა ეფინება წვრილნახვრეტებიან ფირფიტას, რომელიც საყრდენის როლს ასრულებს, ან უშუალოდ მიიღება მოუმინანქრებელი ჭურჭლის კედლებზე, მაგალითად, კოლოდიუმის განზავებული ხსნარის დატანითა და მისი შემდგომი გამოშრობით.

ძალიან წვრილფორებიან მემბრანებში მაღალი წნევის ქვეშ დიალიზის დროს ხდება არა მხოლოდ კოლოიდური

ნაწილაკების, არამედ გახსნილი მოლეკულებისა და ელექტროლიტის იონების შეკავება. ამ პროცესს ჰიპერფილტრაცია ანუ შებრუნებული ოსმოსი ეწოდება. იგი ფართოდ გამოიყენება ბუნებრივი და ტექნიკური წყლების გასაწმენდად.

სხვადასხვა ზომის ფორებიანი ულტრაფილტრების მეშვეობით შეიძლება კოლოიდური სისტემის დაყოფა უფრო მეტად მონოდისპერსიულ ფრაქციებად და ამ ფრაქციების დისპერსიულობის ხარისხის განსაზღვრა.

III თავის ძირითადი დასკვნები

1. კოლოიდური სისტემების მიღების ძირითადი მეთოდებია *დისპერგირება* და *კონდენსაცია*. დისპერგირება არის დიდი ნაწილაკის დაწვრილმანება უფრო მცირე ზომის ნაწილაკებად, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა მექანიკური მოწყობილობებით: სამსხვრეველა, როდინი, სანჯღრეველა, მფრქვევარა, ცენტრიფუგა და სხვადასხვა კონსტრუქციის წისქვილები. კონდენსაცია არის ჰომოგენური სისტემებიდან მოლეკულების, ატომების ან იონების გაერთიანების (ასოციაციის) შედეგად მაღალდისპერსიული ჰეტეროგენული სისტემის წარმოქმნა, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ქიმიური და ფიზიკური პროცესების შედეგად.
2. ზოლის ნებისმიერი მეთოდით მიღებისას დაცული უნდა იქნას ორი ძირითადი პირობა: 1) *ნივთიერება, რომლის ზოლის მიღებაც გვინდა, არ უნდა იხსნებოდეს, ან მცირედ იხსნებოდეს სადისპერსიო გარემოში.* ეს უზრუნველყოფს სისტემის ჰეტეროგენულობას. 2) *აგრეგატულად მდგრადი*

ზოლის მისაღებად საჭიროა სისტემაში არსებობდეს ნივთიერება (სტაბილიზატორი), რომელიც იწვევს წარმოქმნილი ფაზის ნაწილაკების სტაბილიზაციას.

3. *სტაბილიზატორი* – ელექტროლიტის შემთხვევაში ფაზათა გამყოფ საზღვარზე წარმოიქმნება ორმაგი ელექტრული შრე, რომლის ერთი შრე შედგება მყარი ფაზის ზედაპირზე ადსორბირებული სტაბილიზატორის იმ იონებისაგან, რომლებიც შედის მყარი ფაზის შედგენილობაში. მათ პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები ეწოდება. საწინააარმდეგო ნიშნის მქონე იონები იმყოფება მყარი ფაზის ირგვლივ და გაყოფილია ორ ნაწილად. ერთი ნაწილი ელექრტოსტატიკური და ადსორბციული ძალების გავლენით მიიზიდება ზედაპირთან ძალიან ახლოს და წარმოქმნის ადსორბციულ შრეს, მეორე ნაწილი კი თბური მოძრაობის გამო იმყოფება მოშორებით, დიფუზიურ შრეში, რომლებზეც მყარი ფაზის მხრიდან მხოლოდ ელექტროსტატიკური ძალა მოქმედებს. ორმაგი ელექტრული შრის ამგვარი სტრუქტურა იწვევს დისპერსული ფაზის ნაწილაკების დამუხტვას ერთნაირი ნიშნით, რაც მათ შორის განზიდვას და, შესაბამისად, ზოლის აგრეგატულ მდგრადობას უზრუნველყოფს.
4. დამუხტულ მყარ ფაზას (ბირთვს) ადსორბციულ შრესთან ერთად კოლოიდური ნაწილაკი ეწოდება, რომელსაც პოტენციალგანმსაზღვრელი იონის მუხტი აქვს. ნაწილაკს დიფუზიურ შრესთან ერთად კი მიცელა ეწოდება, რომელიც ელექტრონეიტრალურია.
5. კოლოიდურ სისტემაში მოძრავი (კინეტიკური) ერთეული არის კოლოიდური ნაწილაკი.

4. დისპერსიული სისტემების ძირითადი თვისებები

4.1. დისპერსიული სისტემების მოლეკულურ-კინეტიკური თვისებები

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია მოლეკულების თავისთავადი მოძრაობის კანონებს სწავლობს. ჭეშმარიტ ხსნართა ზოგიერთი თვისება სწორედ ასეთი მოძრაობითაა განპირობებული და დამოკიდებულია არა შედგენილობაზე, არამედ კინეტიკურ ერთეულთა – მოცულობის ან მასის ერთეულში მოლეკულათა რიცხვზე. ასეთ კოლიგატიურ თვისებებს მიეკუთვნება: დიფუზია, ოსმოსური წნევა, ხსნარის ორთქლის წნევა, დუღილის და გაყინვის ტემპერატურების ცვლილება.

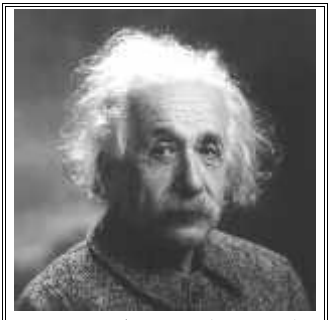
გრემის ნაშრომებიდან ჩანს, რომ კოლოიდურ სისტემებში მან ვერ აღმოაჩინა დიფუზიისა და ოსმოსის მოვლენები. სწორედ ეს თვისებებია კოლოიდური სისტემებსა და ჭეშმარიტ ხსნარებს შორის ძირითადი განმასხვავებელი ნიშნები.

შემდგომი გამოკვლევებით შესაძლებელი გახდა კოლოიდური ნაწილაკების მოძრაობაზე უშუალო ექსპერიმენტული დაკვირვება, რომელიც XIX-XX საუკუნის მიჯნაზე მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ტრიუმფად იქცა. ეს ექსპერიმენტული ფაქტები დაკავშირებულია ბროუნის მოძრაობის აღმოჩენასთან, რომელიც დიდი ხნის მანძილზე გამოცანად რჩებოდა.

4.1.1. ბროუნის მოძრაობა

ინგლისელი ბოტანიკოსი *ბროუნი* (1828 წ.) მიკროსკოპში აკვირდებოდა ყვავილის მტვრიანას მიკრონაწილაკების მოძრაობას წყალში და შეამჩნია, რომ ისინი უწყვეტად და უწესრიგოდ მოძრაობდნენ. შემდგომში ბროუნმა დაადგინა, რომ ასეთი მოძრაობა დამახასიათებელია ნებისმიერი არაორგანული და ორგანული წარმოშობის მცირე ნაწილაკებისათვის და მით უფრო ინტენსიურად მჟღავნდება, რაც უფრო მაღალია გარემოს ტემპერატურა, ნაკლებია ნაწილაკის მასა და გარემოს სიბლანტე. ამ მოძრაობას *ბროუნის მოძრაობა* ეწოდა.

ბროუნის მოძრაობის თეორიული ინტერპრეტაცია ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შექმნეს *აინშტაინმა* და *სმოლუხოვსკიმ. ამ თეორიის თანახმად დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების უწყვეტი და ქაოტური მოძრაობის მიზეზი მათზე სადისპერსიო გარემოს (სითხე ან აირი) მოლეკულების დაჯახებაა.*



ალბერტ აინშტაინი (1879-1955)

თუ ნაწილაკი სადისპერსიო გარემოს მოლეკულებზე ბევრად უფრო დიდი ზომისაა, მაშინ მის ზედაპირზე ყოველი მხრიდან გარემოს მოლეკულების დაჯახებით განპირობებული იმპულსები კომპენსირებულია (მოქმედ ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლია) და ნაწილაკი არ გადაადგილდება. მცირე ზომის ნაწილაკის შემთხვევაში კი მის ზედაპირზე სხვადასხვა მხრიდან მოლეკულების დაჯახებათა

განსხვავებული ინტენსივობის გამო იგი მოქმედ ძალთა ტოლქმედი ძალის მიმართულებით გადაადგილდება.

მაშასადამე, *ბროუნის მოძრაობა კოლოიდურ სისტემაში სადისპერსიო გარემოს მოლეკულათა მოძრაობის შედეგია.* ამით შესაძლებელი გახდა მოლეკულებისა და ატომების რეალურად არსებობის ექსპერიმენტულად დამტკიცება. *დისპერსიული სისტემების შესწავლისას ბროუნის მოძრაობის თეორია ფაქტიურად პირველი რაოდენობრივი თეორია აღმოჩნდა.*

ბროუნის მოძრაობის რაოდენობრივი დახასიათებისათვის აინშტაინისა და სმოლუხოვსკის მიერ შემოტანილი იქნა τ დროში *ნაწილაკის საშუალო გადაადგილების* $-\Delta X$ ცნება. ეს არის ისეთი წრფის მონაკვეთი, რომელიც ჰორიზონტალური პროექციის სიბრტყეში აერთებს ნაწილაკის მოძრაობისას მის საწყის წერტილს (=0) ნაწილაკის მდებარეობასთან გარკვეული τ დროის შემდეგ.

ნაწილაკის გადაადგილება ყველა მიმართულებით როგორც ნიშნით, ისე მოდულით შემთხვევითია და გადაადგილების (გადაძვრის) საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა შეიძლება ნულის ტოლიც კი აღმოჩნდეს. ამიტომ ანგარიშობენ გადაძვრის საშუალო კვადრატულ მნიშვნელობას:

$$\overline{\Delta X}^2 = \frac{\overline{\Delta X1}^2 + \overline{\Delta X2}^2 + \ldots + \overline{\Delta X_n^2}}{n}$$

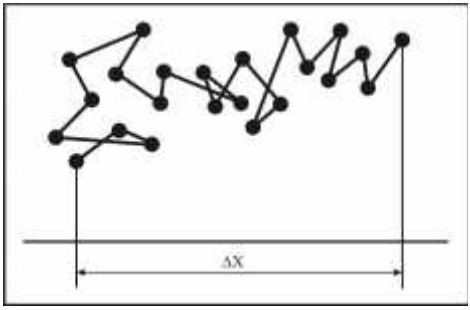
სადაც ნ დაკვირვებათა რიცხვია.

რ რადიუსის მქონე სფერულ ნაწილაკთათვის საშუალო კვადრატული გადაძვრა შემდეგნაირად გამოითვლება:

$$\overline{\Delta X}^2 = \frac{RT^2}{3\pi\eta rN} \qquad (4.1)$$

სადაც π აირების უნივერსალური მუდმივაა; *თ* - აბსოლუტური ტემპერატურა; ²- დაკვირვების დრო; ¦ - სადისპერსიო გარემოს სიბლანტე; *რ* - ნაწილაკის რადიუსი; კი - ავოგადროს რიცხვი. კოლოიდური სისტემებისათვის აღნიშნული განტოლების ექსპერიმენტული შემოწმება ჩაატარა *პერენმა*. ცნობილი *თ,* ¦ და *რ* მნიშვნელობების მქონე მასტიკის ზოლის მაგალითზე. ნაწილაკის საშუალო გადაძვრის გაზომვის საფუძველზე მან გამოთვალა ავოგადროს რიცხვი, რომელიც კარგად ემთხვეოდა სხვა მეთოდებით გამოთვლილ მის მნიშვნელობებს.

ამრიგად, დამტკიცდა, რომ კოლოიდური ნაწილაკები ხასიათდება აშკარად გამოხატული თბური (ბროუნის) მოძრაობით და, აქედან გამომდინარე, *ბროუნის მოძრაობის ქაოტიურობა მთელ სადისპერსიო გარემოში*



ნახ.4.1. ბროუნის მოძრაობის სქემა

დისპერსიული ფაზის თანაბარ განაწილებას იწვევს.

4.1.2. დიფუზია

თბური მოძრაობის შედეგად ხსნარის მთელ მოცულობაში ნაწილაკთა კონცენტრაციის თავისთავად გათანაბრების პროცესს *დიფუზია* ეწოდება. იგი ხსნარებისა და კოლოიდური სისტემებისათვის საერთო თვისებაა. დიფუზიის რაოდენობრივი დახასიათებისათვის განვიხილოთ სივრცესა და დროში ნივთიერების განაწილების პროცესი.

ვთქვათ, კოლოიდური სისტემა (ან მოლეკულური ხსნარი) სუფთა გამხსნელისაგან ან განსხვავებული კონცენტრაციის ხსნარისგან გამოყოფილია მოძრავი ტიხრით. ტიხრის ფრთხილად ამოღების შემდეგ დაიწყება დიფუზიის პროცესი – ნაწილაკთა თავისთავადი გადაადგილება მაღალიდან დაბალი კონცენტრაციისაკენ ($ჩ_1 > ჩ_2$). კონცენტრაციის უპირატესი ცვლილება ხდება ხსნარების შეხების საზღვარზე იქ, სადაც მაქსიმალურია კონცენტრაციის გრადიენტი ($დც/დხ$). მოლებით გამოსახული ნივთიერების ნაკადი (*ნ*), *ფიკის I კანონის* თანახმად,ასე გამოითვლება:

$$dn = -DS\frac{dc}{dx}d^2 \qquad (4.2)$$

"–" ნიშნავს, რომ პროცესი მიმართულია კონცენტრაციის შემცირებისაკენ. *დიფუზიის კოეფიციენტია* და ნივთიერების იმ რაოდენობის ტოლია, რომელიც 1 წმ-ში 1 სმ^2 ფართობის მქონე სითხის კვეთაში გადის, როცა $დც/დხ=1$. მისი განზომილებაა [სმ^2/წმ].

დიფუზიის პროცესის რაოდენობრივი მახასიათებელია და დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ნაწილაკის ზომასა და მისი მოძრაობის სიჩქარეზე,

რომელიც, თავის მხრივ, გარემოს სიბლანტის უკუპროპორციულია

$$D = \frac{RT}{6\pi\eta rN} \qquad (4.3)$$

სადაც η სადისპერსიო გარემოს სიბლანტეა; r ნაწილაკის რადიუსი. (4.3) ეწოდება აინშტაინის განტოლება, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს დიფუზიის კოეფიციენტსა და ნაწილაკის ზომას.

-ს მნიშვნელობა ექსპერიმენტულად შეიძლება (4.2) განტოლების საშუალებით განისაზღვროს ცნობილი $\Delta c/\Delta x$ პირობებში დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობის გაზომვის გზით. ამ წესით გაზომილი $=10^{-5}$ სმ^2/წმ ჩვეულებრივი მოლეკულებისათვის, ხოლო კოლოიდური ნაწილაკებისათვის $=10^{-7} \div 10^{-9}$ სმ^2/წმ, ანუ $2 \div 4$ რიგით მცირეა, რაც სრულიად მისაღებია თუ გავითვალისწინებთ, რომ ერთნაირი მასური კონცენტრაციის დროს კოლოიდურ სისტემებში ნაწილაკობრივი კონცენტრაცია ძალიან მცირეა, შესაბამისად მცირეა მათი კონცენტრაციის გრადიენტი ($\Delta c/\Delta x$).

(4.3) განტოლებიდან დიფუზიის კოეფიციენტის ცნობილი მნიშვნელობის შემთხვევაში შეიძლება განისაზღვროს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკის ზომა, ანუ დისპერსიულობის ხარისხი. გარდა ამისა, აინშტაინის განტოლება -სა და $\overline{\Delta X}^2$ შორის კავშირის პოვნის საშუალებასაც იძლევა.

(4.1) და (4.3) განტოლებათა შედარებიდან მივიღებთ:

$$\overline{\Delta X}^2 = 2\ ^2 \qquad (4.4)$$

(4.4) *აინშტაინ-სმოლუხოვსკის განტოლების* სახელითაა ცნობილი, რომლის გამოყენებით ექსპერიმენტულად გაზომილი $\overline{\Delta X}^2$–ის საფუძველზე და r სიდიდეები

შეიძლება განისაზღვროს.

ამრიგად, *კოლოიდური სისტემები ხასიათდება მცირე, მაგრამ გაზომვადი დიფუზიით, რომელიც დიფუნდირებული ნაწილაკების ზომის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.*

4.1.3. ოსმოსური წნევა

დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების თბური მოძრაობის გამო კოლოიდური სისტემები ჭეშმარიტი ხსნარების მსგავსად ხასიათდება ოსმოსური წნევით, რომლის აღძვრის მექანიზმი და კანონზომიერებები ფიზიკური ქიმიის კურსშია განხილული.

ვანტ-ჰოფის კანონის თანახმად, იდეალური ხსნარებისათვის ოსმოსური წნევა იანგარიშება ფორმულით:

$$\text{ოსმ} = \text{ღთც} \quad (4.5)$$

სადაც ც ხსნარის მოლური კონცენტრაციაა.

თუ შემოვიღებთ ნაწილაკობრივი კონცენტრაციის ცნებას, მაშინ ეს განტოლება შეიძლება გამოყენებულ იქნას კოლოიდური სისტემებისათვისაც. *კოლოიდურ სისტემაში კინეტიკური ერთეული კოლოიდური ნაწილაკია.* ამიტომ კონცენტრაციის ერთეულად ითვლება მოცულობის ერთეულში ნაწილაკების რიცხვი $=ც$,

მასური კონცენტრაცია $ც = \frac{¬}{N}$, სადაც ავოგადროს რიცხვია. ვანტ-ჰოფის განტოლებაში ც-ს შეცვლა /-ით იძლევა კოლოიდური სისტემისათვის ოსმოსური წნევის გამოსათვლელ ფორმულას:

$$_{осм} = \text{ღთ } \frac{\neg}{N} = \quad \text{თ}$$

(4.6)

სადაც ბოლცმანის მუდმივაა ($= \frac{R}{N}$).

მუდმივი ტემპერატურისა და მასური კონცენტრაციის პირობებში ნაწილაკების რიცხვის ზრდის, ანუ დისპერსიულობის ხარისხის ზრდის შესაბამისად იზრდება სისტემის ოსმოსური წნევაც.

თუ ორი ერთნაირი ბუნების ზოლი განსხვავებულია ნაწილაკობრივი კონცენტრაციებით, მაგრამ ერთნაირი ზომის ნაწილაკებს შეიცავს, მაშინ $ც_1 = მ_1$ და $ც_2 = მ_2$ (მ - ნაწილაკის მასაა) , ხოლო $P_{ოსმ_1} = მ_1$ ღთ; $P_{ოსმ_2} = მ_2$ ღთ , ან

$$\frac{P_{ოსმ_1}}{P_{ოსმ_2}} = \frac{\neg_1}{\neg_2} \qquad (4.7)$$

ე.ი. *კოლოიდურ სისტემებში ოსმოსური წნევა ნაწილაკთა მოცულობითი, მასური ან ნაწილაკობრივი კონცენტრაციის პროპორციულია.*

თუ ზოლები მასური კონცენტრაციებით ერთნაირია ($ც_1=ც_2$), მაგრამ განსხვავდებიან ნაწილაკების ზომით, მაშინ

$$P_{ოსმ_1} = \frac{c}{m_1} \quad \text{თ} \quad \text{და} \quad P_{ოსმ_2} = \frac{c}{m_2} \quad \text{თ}$$

ან

$$\frac{P_{осм1}}{P_{осм2}} = \frac{m_2}{m_1}$$

სადაც მ = V. სფერულ ნაწილაკთათვის $V=\frac{4}{3}$ ^{3}რ ამიტომ

$$\frac{P_{осм1}}{P_{осм2}} = \frac{r_2^3}{r_1^3} \qquad (4.8)$$

ე.ი *კოლოიდურ სისტემებში ოსმოსური წნევა ნაწილაკის მასის ან რადიუსის კუბის უკუპროპორციულია.* ასეთი დამოკიდებულება საშუალებას იძლევა ექსპერიმენტულად გაზომილი ოსმოსური წნევის გამოყენებით გამოთვლილ იქნას კოლოიდური სისტემის ნაწილაკთა ზომა ან დისპერსიულობის ხარისხი.

ვანტ-ჰოფის კანონიდან გამომდინარე, *ჭეშმარიტ ხსნარებთან შედარებით კოლოიდურ სისტემებში ოსმოსური წნევა გაცილებით მცირე სიდიდის უნდა იყოს, რადგან ერთნაირი მასური კონცენტრაციების შემთხვევაში კოლოიდურ სისტემაში ნაწილაკების ზომა გაცილებით დიდია, ვიდრე ჭეშმარიტ ხსნარებში. შესაბამისად, უფრო მცირეა მათი ნაწილაკობრივი კონცენტრაციები. ამის გამო* $_{осм}$ *ძალიან მცირე სიდიდეა.* სწორედ ამ მიზეზით გრემმა ვერ შეძლო კოლოიდურ სისტემებში ოსმოსური წნევის გაზომვა ან დაფიქსირება.

4.1.4. სედიმენტაცია

თავისუფალდისპერსიულ სისტემაში დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს სადისპერსიო გარემოს მთელ მოცულობაში თავისუფალი გადაადგილება შეუძლიათ.

ძლიერ განზავებულ სისტემებში, სადაც ეს მოძრაობა ნაწილაკთა შორის ურთიერთდაჯახებებით არაა გართულებული, თითოეული ნაწილაკი დამოუკიდებლად მოძრაობს. ამის მაგალითია სუსპენზიები, ემულსიები, აეროზოლები. დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების დალექვა ან ტივტივი სითხის ზედაპირზე ამ სისტემათა საერთო თვისებაა.

სიმძიმის ძალის გავლენით ნაწილაკთა დალექვის პროცესს *სედიმენტაცია* ეწოდება. თითოეულ ნაწილაკზე მოქმედი სიმძიმის ძალა ($_1$) მისი ეფექტური მასის (მ-მ$_0$) პროპორციულია:

$$_1=(მ-მ_0)გ=V(\quad _0)გ \qquad (4.9)$$

სადაც მ და მ$_0$ ნაწილაკისა და სადისპერსიო გარემოს მასებია; V-ნაწილაკის მოცულობა; და $_0$ კი - დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო გარემოს სიმკვრივეები; გ- სიმძიმის ძალის აჩქარება. როდესაც $_0$ ნაწილაკი ილექება, ხოლო როცა $_0$ - ტივტივებს სითხის ზედაპირზე, ანუ ადგილი აქვს *უარყოფით სედიმენტაციას.*

ნაწილაკის მოძრაობისას თხევად ან აირად გარემოში აღიძვრება ხახუნის ძალა ($_{ხახ}$), რომელიც ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის ( ) პროპორციულია:

$$_{ხახ} =$$

სადაც *ხახუნის კოეფიციენტია.* ნაწილაკზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა

$$= _1 - _{ხახ}$$

ხახუნის ძალა იზრდება ნაწილაკის მოძრაობის დაწყებიდან -ს ზრდის შესაბამისად და, როცა მყარდება წონასწორული მდგომარეობა, ხახუნის ძალა სედიმენტაციის გამომწვევ ძალას უტოლდება. თავიდან ნაწილაკთა თანაბარაჩქარებული მოძრაობა ამ

მომენტისთვის თანაბარი ხდება და ნაწილაკი მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით. ე.ი. $_1$= ხახ ან:

$$V(\quad _0)გ =$$

საიდანაც

$$=\frac{V(°-°_0)}{B}g$$

(4.10)

სფერული ნაწილაკებისათვის *სტოქსის კანონის* თანახმად, =6 რ, სადაც რ ნაწილაკის რადიუსია;

სადისპერსიო გარემოს სიბლანტე. სფეროს მოცულობის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$=\frac{2r^2(°-°_0)g}{9¦}$$

(4.11)

თუ აღვნიშნავთ, რომ

$$=\sqrt{\frac{9¦}{2(°-°_0)g}} \qquad (4.12)$$

მაშინ

$$რ = K\sqrt{U}$$

(4.13)

(4.13)- ით შეიძლება გამოითვალოს ნაწილაკის რადიუსი ცდით განსაზღვრული სედიმენტაციის სიჩქარის ( ) საფუძველზე.

ულტრამიკროჰეტეროგენულ სისტემებში ნაწილაკთა დალექვა ძალიან ნელა მიმდინარეობს. ამ სისტემებში სედიმენტაციის მოსახდენად 1912 წელს რუსი მეცნიერის *დუმანსკის* მიერ გამოყენებული იყო *ცენტრიდანული ველი.* ამის საფუძველზე შვედმა მეცნიერმა *სვედბერგმა* შექმნა *ცენტრიფუგა*, რომლის ბრუნვის სიხშირე აღწევდა რამდენიმე ათასეულ ბრუნს წამში, ხოლო ცენტრიდანული აჩქარება "10^6 გ-ს.

თეოდორ სვედბერგი (1884-1971)

დისპერსიულ სისტემებში სედიმენტაციის განხილვისას აუცილებლად უნდა იქნას გათვალისწინებული დიფუზიის მოვლენა, რადგან მას შეუძლია შეაფერხოს ნაწილაკების დალექვის პროცესი. *დალექვას თან ახლავს სითხის ზედა ფენებში ნაწილაკთა კონცენტრაციის შემცირება, რასაც კონცენტრაციის გრადიენტის წარმოქმნა მოჰყვება.* ეს კი იწვევს ქვემოდან ზევით დიფუზიურ ნაკადს, რომელიც, *ფიკის პირველი კანონის* თანახმად, შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$J_{დიფ} = -\frac{d\Gamma}{dx} = -\frac{KT}{6\pi\eta r} * \frac{d\Gamma}{dx} \qquad (4.14)$$

სედიმენტაციური ნაკადი მიმართულია ზევიდან ქვევით და ტოლია:

$$J_{სედ} = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta} * \qquad (4$$

ამ ორი ნაკადის სიდიდეთა თანაფარდობა განსაზღვრავს ნაწილაკების ქცევას დისპერსიულ სისტემებში. ნაწილაკის ზომის გაზრდით სედიმენტაციური ნაკადი იზრდება უფრო ჩქარა ($ჯ_{სედ}$“ $რ^2$), ვიდრე მცირდება დიფუზიური ნაკადი ($ჯ_{დიფ}$“$\frac{1}{r}$). *თუ $ჯ_{სედ} > ჯ_{დიფ}$, დიფუზია შეიძლება უგულებელვყოთ და ასეთი სისტემა სედიმენტაციურად არამდგრადია, რაც მიკროჰეტეროგენული სისტემებისთვისაა დამახასიათებელი. თუ $ჯ_{დ} > ჯ_{სედ}$, მაშინ ნაწილაკები თანაბრად არის განაწილებული და შეიძლება სედიმენტაციის უგულებელყოფა. ასეთი სისტემა სედიმენტაციურად მდგრადია, რაც ულტრამიკროჰეტეროგენული სისტემებისათვის(ხსნარები) არის დამახასიათებელი.* ხსნარებში ნაწილაკების დალექვისას გარკვეული დროის შემდეგ შეიძლება დადგეს მომენტი, როდესაც $ჯ_{სედ} = ჯ_{დიფ}$. *ამ დროს წყდება ნივთიერების გადატანა ორივე მიმართულებით და მყარდება სედიმენტაციურ-დიფუზიური წონასწორობა.* ნივთიერების განაწილება სიმაღლის მიხედვით *ჰიფსომეტრული კანონის* შესაბამისად ხდება:

$$ც = ც_{ო} e^{-mgh/KT} \qquad (4.16)$$

სადაც ც სითხეში ნაწილაკების კონცენტრაციაა *ჰ* სიმაღლეზე; $ც_{ო}$ - ნაწილაკთა კონცენტრაცია ჭურჭლის ფსკერზე; *მ* კი - ნაწილაკების მასა.

(4.16) თანახმად *მუდმივი ტემპერატურის პირობებში სითხის სვეტის სიმაღლისა (ჰ) და ნაწილაკების მასის (მ) ზრდის შესაბამისად სისტემაში ნაწილაკების კონცენტრაცია მცირდება.* ამ განტოლებით ნაწილაკობრივი კონცენტრაციის განსაზღვრის საფუძველზე შეიძლება განისაზღვროს ნაწილაკთა ზომა ორ სხვადასხვა სიმაღლეზე.

(4.16) განტოლების საფუძველზე *სვედბერგმა* პირველად გამოთვალა ავოგადროს რიცხვი, რომელიც სხვა მეთოდით მიღებულ შედეგებთან კარგ თანხვდენაშია.

4.1.5. სედიმენტაციური ანალიზი

(4.13) განტოლება საფუძვლად უდევს *სედიმენტაციურ ანალიზს*, რომელიც დისპერსიული ანალიზის ერთერთი მეთოდია და ფართოდ გამოიყენება უხეშდისპერსიული სისტემების შესწავლისას. მეთოდი გულისხმობს ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის ექსპერიმენტული გაზომვის საფუძველზე სუსპენზიაში ნაწილაკების ზომის (დისპერსიულობის ხარისხის) დადგენას. სედიმენტაციური ანალიზის მეთოდს უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც დისპერსიულობის ხარისხი მრავალი სამრეწველო (ცემენტი, ბეტონი, პიგმენტები, მინანქარი, ჭიქურები, შლიკერები) და ბუნებრივი (ქვიშა, გრუნტი, ნიადაგი, ბაქტერიები) მასალის საწარმოო მაჩვენებლებს განსაზღვრავს.

დალექვისას მონოდისპერსიულ სისტემაში ყველა ნაწილაკი ერთნაირი სიჩქარით მოძრაობს. ამის გამო სუსპენზიაში სადისპერსიო გარემოსა და სუსპენზიას შორის ჩნდება მკვეთრი გამყოფი საზღვარი, რომელიც თანდათან ქვევით იწევს. საზომ ცილინდრში მისი გადაადგილების სიდიდისა და დროის გაზომვით შეიძლება განისაზღვროს ნაწილაკთა დალექვის სიჩქარე:

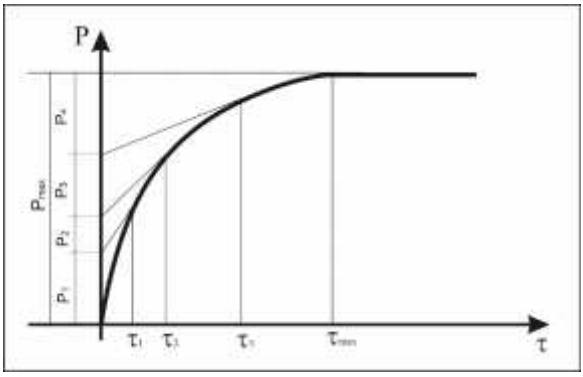
$$= \frac{H}{t} \qquad (4.17)$$

სადაც საზომ ცილინდრში სუსპენზიის სვეტის სიმაღლეა, t კი- დალექვის დრო. დალექვის სიჩქარის

სიდიდისა და (4.13) ფორმულის გამოყენებით გამოითვლება ნაწილაკის რადიუსი.

რაც შეეხება რეალურ სისტემებს, ისინი პოლიდისპერსიულია. ეს კი ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის სხვადასხვაობას იწვევს. მსხვილი ნაწილაკები უფრო სწრაფად ილექება, ვიდრე მცირე ზომის ნაწილაკები, რის გამოც სადისპერსიო არესა და სუსპენზიას შორის მკვეთრი საზღვარი აღარ წარმოიქმნება. ამ შემთხვევაში სედიმენტაციური ანალიზის ამოცანაა პოლიდისპერსიულ სისტემაში ცალკეული ფრაქციის შეფარდებითი რაოდენობის განსაზღვრა და ზომის მიხედვით მათი განაწილების შეფასება. ამ მიზნით ექსპერიმენტულად საზღვრავენ დროის გარკვეულ მონაკვეთებში გამოყოფილი ნალექის წონას მის გამუდმივებამდე, ანუ სუსპენზიის სრულ დალექვამდე და აგებენ ნალექის წონასა ( ) და დალექვის დროს (τ) შორის დამოკიდებულების გრაფიკს, რომელსაც *სედიმენტაციური მრუდი* ეწოდება (ნახ.4.2).

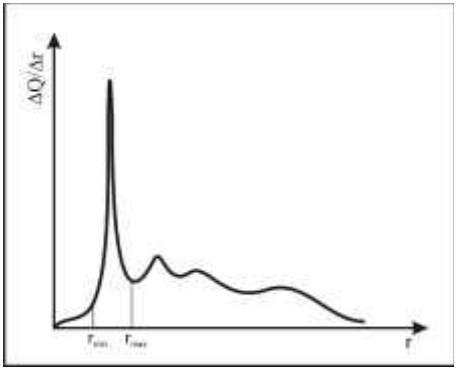
სედიმენტაციური მრუდიდან მიიღება პოლიდისპერსიული სისტემის დახასიათებისათვის საჭირო ყველა მონაცემი.



ნახ. 4.2. სედიმენტაციური მრუდი

რეალურ სისტემაში მრუდი პარაბოლაა. მის სხვადასხვა წერტილზე, სადაც სიმრუდე უფრო მკვეთრად იცვლება, ავლებენ მხებებს და აგრძელებენ ორდინატთა ღერძის გადაკვეთამდე. ღერძზე მხებებით მოკვეთილი მონაკვეთების სიგრძეები შესაბამის (τ_1, τ_2, τ_3, ..., τ_o) დროში გამოლექილი ფრაქციების ($_1$, $_2$, $_3$, ..., $_o$) წონის ტოლია. $_{ჯამ}= _1+ _2+ _3+...+ _o$ მთლიანი დისპერსიული ფაზის წონაა, რომელიც სედიმენტაციის პროცესის დამთავრებას შეესაბამება.

სუსპენზიაში ცალკეული ფრაქციის პროცენტულ შემცველობას ანგარიშობენ ფორმულით:



ნახ. 4.3. განაწილების დიფერენციალური მრუდი

$$_o=\frac{P_i}{P_{\max}}\cdot 100\% \qquad (4.18)$$

$$_1 + _2 + _3+... + _o = 100\%$$

პოლიდისპერსიულ სისტემაში ნაწილაკების განაწილებაზე ნათელ სურათს *განაწილების ინტეგრალური (ჯამური)* და *დიფერენციალური მრუდები*

იძლევა, რომლებიც საკვლევი სისტემის პოლიდისპერსიულობის ხარისხს ახასიათებს. მათი აგების მეთოდი დეტალურადაა აღწერილი კოლოიდური ქიმიის პრაქტიკულ სახელმძღვანელოებში. განაწილების მრუდების მიხედვით ადვილად შეიძლება განისაზღვროს ცალკეული ფრაქციის შემცველობა პოლიდისპერსიულ სისტემაში.

ნახ. 4.3 მოცემულია ნაწილაკების განაწილების დიფერენციალური მრუდი, რომელიც ახასიათებს სხვადასხვა ზომის ნაწილაკთა შეფარდებით შემცველობას პოლიდისპერსიულ სისტემაში. რაც უფრო ნაკლებად განსხვავდება ერთმანეთისაგან r_{min} და r_{max} და მაღალია მრუდის მაქსიმუმი, მით ახლოა სისტემა მონოდისპერსიულთან. მრუდის მაქსიმუმი კი შეესაბამება ფრაქციას, რომელიც ყველაზე მეტი რაოდენობითაა სისტემაში.

4.2. დისპერსიული სისტემების ოპტიკური თვისებები

დისპერსუილ სისტემაში ფაზათა გამყოფი ზედაპირის არსებობა მასზე დაცემული სინათლის სხივის მიმართულების შეცვლას (არეკვლა და გარდატეხა) ან სხივთა კონის განსხვავებულ შთანთქმის უნარს განაპირობებს. სწორედ ამის გამო დისპერსიული სისტემები ფაზური და, შესაბამისად, ოპტიკური არაერთგვაროვნებით ხასიათდებიან. უხეშდისპერსიულ სისტემაზე სინათლის სხივის დაცემისას ხდება ნაწილაკების ზედაპირიდან სხვადასხვა კუთხით მისი არეკვლა და

გარდატეხა. *დისპერსიულობის ხარისხის გაზრდა კოლოიდურ სისტემებში სინათლის დიფრაქციულ განბნევას – ოპალესცენციას იწვევს.*

4.2.1 სინათლის განბნევა

კოლოიდური სისტემების მიერ სინათლის განბნევა პირველად 1868 წელს *ტინდალის* მიერ იქნა შემჩნეული. სინათლის კონით კოლოიდური ხსნარის გვერდიდან დასხივებისას, ბნელ ფონზე შეიმჩნეოდა მოცისფრო მანათობელი კონუსი. ამ მოვლენას შემდგომში *ტინდალის ეფექტი* ან, სხვანაირად, *ოპალესცენცია* ეწოდა. *მიკროარაერთგვაროვან სისტემებში ოპალესცენცია გამოწვეულია სინათლის დიფრაქციული განბნევით.* ამ თვისებით კოლოიდური სისტემები განსხვავდება ჭეშმარიტ ხსნარებისაგან, რომლებიც ძირითადად ოპტიკურად ინდიფერენტულ სისტემებს წარმოადგენს. ოპალესცენცია შეიმჩნევა ბნელ ოთახში მცირე ზომის ნახვრეტიდან შემოსულ მზის სინათლეში, თუ ჰაერი შეიცავს კვამლის კოლოიდურ ნაწილაკებს, უხეშდისპერსიული მტვრის ნაწილაკები კი განუწყვეტლივ მოძრავი, მანათობელი წერტილების სახით ჩანს, რაც მათი ზედაპირიდან სინათლის არეკვლითაა გამოწვეული.

სინათლის განბნევის რაოდენობრივი თეორია დაამუშავა *რელეიმ* ისეთი სფერული ფორმის ნაწილაკთათვის, რომელთა შემადგენელი ნივთიერება დიელექტრიკია და სინათლის შთანთქმით არ ხასიათდება. ასეთ დისპერსიულ სისტემაში სინათლის გავლა სხივის ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით ნაწილაკების პოლარიზაციას იწვევს. აღძრული დიპოლები სინათლის გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს. ერთგვაროვან გარემოში დიპოლების მიერ გამოსხივებული სინათლის ტალღები მხოლოდ

დაცემული სინათლის მიმართულებით ვრცელდებიან. *მიკროარაერთგვაროვან გარემოში (კოლოიდური სისტემები), სადაც დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო გარემოს გარდატეხის მაჩვენებლები განსხვავებულია, ყოველი ნაწილაკი გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს და, თუ დაცემული სინათლის ტალღის სიგრძე მეტია ნაწილაკის ზომაზე, გამოსხივება ხდება ყველა მიმართულებით გაბნეული სინათლის სახით.* ე.ი. *სისტემის არაერთგვაროვნება სინათლის განბნევის უმთავრესი პირობაა. კოლოიდურ სისტემებში სინათლის სხივის დიფრაქციული განბნევა ხდება მაშინ, როდესაც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს შორის მანძილი მეტია ტალღის სიგრძეზე, ხოლო ეს უკანასკნელი კი მეტია ნაწილაკთა ზომაზე.*

რელეის განტოლებას განბნეული სინათლის სხივის ინტენსივობის გამოსათვლელად შემდეგი სახე აქვს

$$I = I_{0} * \frac{24\pi^3 \nu V^2}{a^4} * \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 - 2n_0^2} \right)^2$$

(4.19)

სადაც I_0 და I დაცემული და გაბნეული სინათლის ინტენსივობებია; ν - ნაწილაკობრივი კონცენტრაცია; V – ნაწილაკის მოცულობა; n_1 და n_0 დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო გარემოს გარდატეხის მაჩვენებლები, ხოლო a - სინათლის ტალღის სიგრძე.

რელეის განტოლება საფუძვლად უდევს კოლოიდური სისტემების კვლევის ყველა ოპტიკურ მეთოდს, რომლებიც სინათლის განბნევასა და გაბნეული სინათლის ინტენსივობის გაზომვას ემყარება.

$(n_1 - n_0)$ სხვაობის გაზრდით განბნეული სინათლის ინტენსივობა ძლიერ იზრდება. მუდმივი მასური კონცენტრაციის შემთხვევაში *I* ნაწილაკის მოცულობის პროპორციულია. დიფრაქციული განბნევის თეორიის თანახმად, ეს დამოკიდებულება მართებულია, როცა 2 რ/ 0,3. სპექტრის ხილული უბნისათვის ეს პირობა შეესაბამება ნაწილაკების ზომას რ $<2 \div 4*10^{-6}$ სმ.

ნაწილაკების ზომის გაზრდით (რ სინათლის განბნევა არეკვლით იცვლება. I პროპორციულია ნაწილაკობრივი კონცენტრაციის ( ) და უკუპროპორციულია $^{a}4$-ის, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ სისტემის თეთრი სინათლით განათებისას განბნეული სინათლე მოკლეტალღიანი კომპონენტებით (ლურჯი, იისფერი) მდიდრდება. რაც დამახასიათებელია მრავალი კოლოიდური სისტემისათვის, რომლებიც გვერდითი განათებისას მოცისფრო-იისფერ შეფერილობას იღებს. გამავალ სინათლეში კი სხივთა კონაში გრძელტალღიანი კომპონენტები რჩება, რომლებიც მას წითელ ელფერს აძლევს. ამით აიხსნება ცის მოწითალო ფერი მზის ჩასვლისას. მზე ჰორიზონტს დაბლა იმყოფება და სხივების განმბნევი გარემოს სქელი ფენის გავლის შემდეგ ჩვენ გრძელტალღიან წითელ სინათლეს ვხედავთ.

განბნეული სინათლის ინტენსივობის დამოკიდებულებას $^{a}4$-ზე დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს სიგნალიზაციისა და რადიოლოკაციისათვის. წითელი ფერი საფრთხის სიგნალად იმიტომ გამოიყენება, რომ ის ნაკლები განბნევის გამო ნისლიან ამინდშიც კი შორი მანძილიდან კარგად შეიმჩნევა. ინფრაწითელი და მოკლე რადიოტალღების მცირე განბნევას ლოკაციისათვის იყენებენ. ამ ტალღების შეხვედრისას რაიმე განმბნევ ან ამრეკლავ სხეულთან (თვითმფრინავი, ღრუბელი), სხივის

ენერგიის გარკვეული ნაწილი აირეკლება შემხვედრი ობიექტის ზედაპირიდან და მარეგისტრირებელ მოწყობილობას უბრუნდება. სიგნალის დაბრუნების დროის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს ობიექტის სიშორე, ხოლო სხივის ინტენსივობით - შემხვედრი ობიექტის ზომა.

4.2.2. სინათლის შთანთქმა

მრავალი კოლოიდური ხსნარი შეფერილია, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ისინი სპექტრის შესაბამისი უბნის სიხშირის სხივებს შთანთქავენ. ზოლი იღებს შთანთქმული სინათლის დამატებითი ფერის შეფერილობას. მაგალითად, ლურჯი სინათლის შთანთქმისას, ზოლი იფერება წითლად; თუ სხეული შთანთქავს სპექტრის მთელ ხილულ უბანს, მაშინ ის შავი ფერისაა; თუ ეს სხივები განჭოლავენ გამჭვირვალე სხეულს, მაშინ იგი უფერული ჩანს, ხოლო, თუ აირეკლება არაგამჭვირვალე სხეულიდან, მაშინ სხეული თეთრი ფერისაა. ზოლები უფერული ან მუდმივი შეფერილობისაა. შეფერვის ინტენსიურობა დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების ზომაზე და მათ კონცენტრაციაზეა დამოკიდებული. ში $_2$–ის, თიხამიწის ჰიდროზოლები უფეროა, მათ მხოლოდ სინათლის განბნევა ახასიათებს. დარიშხანის სულფიდის ზოლი ჟოლოსფერ-წითელია, ბერლინის ლაჟვარდი - ლურჯი და ა.შ. ზოლები გამჭოლ სინათლეზე ჰომოგენური ჩანს და ძალიან გვანან ჭეშმარიტ ხსნარებს, ამიტომ სინათლის შთანთქმა ამ სისტემებშიც ემორჩილება *ბუგერ-ლამბერტ-ბეერის* კანონს, რომლის თანახმად:

$$I = I_0 e^{-Klc}$$

(4.20)

სადაც I_0 და I სისტემაზე დაცემული და სისტემიდან გამოსული სინათლის ინტენსივობებია; K - შთანთქმის კოეფიციენტი, რომელიც სინათლის განბნევასაც (სისტემის სიმღვრივეს) ითვალისწინებს c - ზოლის კონცენტრაცია; l კი - ზოლის ფენის სისქე, რომელშიც სინათლის სხივი გადის.

ლითონთა ნაწილაკების შემცველი ზოლები ძლიერ შთანთქავენ მათზე დაცემულ სინათლეს. ეს იმითაა გამოწვეული, რომ სინათლის ტალღის მაგნიტური ველი იწვევს გამტარის ნაწილაკებში ელექტრული დენის აღძვრას. ამ დროს ტალღის ენერგიის ნაწილი გარდაიქმნება ჯოულის სითბოში და ხდება სინათლის ენერგიის მნიშვნელოვანი სიდიდის შთანთქმა დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების მიერ *ლითონთა ზოლებს ახასიათებს შთანთქმის შერჩევითობა, რაც მათი დისპერსიულობის ხარისხის ფუნქციას წარმოადგენს. დისპერსიულობის გაზრდით შთანთქმის მაქსიმუმი მოკლე ტალღებისაკენ ინაცვლებს.* დისპერსიულობის გავლენა გამოწვეულია როგორც შთანთქმის, ისე განბნევის სპექტრის ცვლილებით (ფიქტიური შთანთქმა). მაგალითად, ოქროს ზოლი, რომელშიც ნაწილაკების ზომა 20 ნმ-ია, შთანთქავს სპექტრის მწვანე უბანს და კაშკაშა წითელი ფერი აქვს. 40-50 ნმ ზომის ნაწილაკების შემთხვევაში მაქსიმალური შთანთქმა ხდება სპექტრის ყვითელ უბანში და ზოლი იღებს ლურჯ ფერს. ძალიან მაღალდისპერსიული ოქროს ზოლი სინათლეს შთანთქავს სპექტრის ლურჯ უბანში და აქვს ყვითელი ფერი, ისეთივე, როგორც CH_3-ის ჭეშმარიტ ხსნარს.

შთანთქმის შერჩევითობასთანაა დაკავშირებული ზოგიერთი მინერალისა და ძვირფასი ქვის შეფერილობა. რძისფერი კვარცი, საფირონი, ამეთვისტო წარმოადგენს კვარცის ნაირსახეობებს, სადაც Si_2–ის კრისტალურ მესერში ჩართულია Ni, Fe და სხვა ლითონების მაღალდისპერსიული ნაწილაკები. ლალი წარმოადგენს ქრომის ან ოქროს კოლოიდურ ხსნარს Al_2O_3-ში. ხელოვნური ლალის მინა არის ოქროს კოლოიდური ხსნარი მინაში, რომელიც გამდნარ მინაში სამვალენტიანი ოქროს იონების აღდგენით მიიღება.

4.2.3. დისპერსიული სისტემების კვლევის ოპტიკური მეთოდები

კოლოიდური სისტემების კვლევის ოპტიკური მეთოდები ამ სისტემათა მიერ სინათლის სხივის შთანთქმის, არეკვლის, განჭოლვისა და განბნევის უნარს ემყარება. ამ მეთოდებით შეიძლება განისაზღვროს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა ზომა, ფორმა, აგებულება და კონცენტრაცია. ოპტიკური თვისებების შესწავლამ ხელი შეუწყო რაოდენობრივ კანონზომიერებათა დადგენას ისეთ პროცესებში, როგორიცაა ბროუნის მოძრაობა და დიფუზია.

დღეისათვის ოპტიკური მეთოდებიდან უპირატესი გამოყენება *ულტრამიკროსკოპიას, ელექტრონულ მიკროსკოპიას, ნეფელომეტრიას, ტურბიდიმეტრიასა* და *რენდგენოგრაფიას* აქვს.

ულტრამიკროსკოპია ერთ-ერთი პირველი ოპტიკური მეთოდია, რომელიც კოლოიდური სისტემების კვლევისას იქნა გამოყენებული. ჩვეულებრივი მიკროსკოპისაგან განსხვავებით ულტრამიკროსკოპში სინათლის სხივის მძლავრი კონით კოლოიდურ სისტემას ანათებენ

გვერდიდან და აკვირდებიან ნაწილაკების მიერ განბნეულ სინათლეს. არსებითად, თითოეული ნაწილაკი წარმოქმნის მანათობელ კონუსს. ამიტომ ბნელ ფონზე ნაწილაკები ჩანს მანათობელ წერტილებად, რომლებიც ბროუნის მოძრაობაში არიან ჩართულნი. პირდაპირი რეგისტრაცია ამ ნაწილაკთა ფორმასა და ზომაზე მსჯელობის საშუალებას არ იძლევა, რადგან მიკროსკოპში ჩანს არა უშუალოდ ნაწილაკები, არამედ მათ მიერ ყოველმხრივ განბნეული სინათლის კვეთა. მანათობელი წერტილების დათვლით ცნობილი მასური კონცენტრაციის შემთხვევაში შეიძლება გამოვითვალოთ ნაწილაკების ზომა. ამ მიზნით მიკროსკოპში გამოყოფენ გარკვეულ ოპტიკურ მოცულობას (V_0), რომელშიც ითვლიან მანათობელი წერტილების რიცხვს (ნ). მოცულობის ერთეულში ნაწილაკების რიცხვი $=\frac{n}{V_0}$,

ხოლო ნაწილაკის მოცულობა $V=\frac{C}{\neg^{\circ}}$, სადაც ჩ ნაწილაკების მასური კონცენტრაციაა (გრამი); კი- სიმკვრივე. ამის შემდეგ კუბური ნაწილაკებისათვის შეიძლება გამოვითვალოთ წიბოს სიგრძე $=\sqrt[3]{V}$, სფერული ნაწილაკებისათვის კი – რადიუსი

$$\text{რ} = \sqrt[3]{3V / 4®}$$

ულტრამიკროსკოპის გამოყენებით შეიძლება დავაკვირდეთ მთელი კოლოიდური დიაპაზონის - 3 ნმ-მდე ზომის ნაწილაკებს.

კვლევის უფრო დიდ შესაძლებლობას იძლევა ელექტრონული მიკროსკოპი, რომელშიც სხივთა კონის ნაცვლად ელექტრონების ნაკადი გამოიყენება. საკვლევ გარემოში გავლის შემდეგ ელექტრომაგნიტური ველით

ხდება ელექტრონების კონის ფოკუსირება. გადიდებული გამოსახულების პროექცია კი მონიტორზე მიიღება ან ხდება მისი ფოტოგრაფირება – ჩაწერა ციფრული ინფორმაციის სახით. ძლიერ ელექტრულ ველში ელექტრონების ნაკადის აჩქარება ისე ხდება, რომ მათი მოძრაობის სიჩქარე შეესაბამება $\div 5 * {}^{-9}$სმ ელექტრონული მიკროსკოპის გარჩევისუნარიაობა საშუალებას იძლევა დავაკვირდეთ თითოეულ ნაწილაკს მოლეკულისა და იონის ზომამდე, დავადგინოთ მათი ფორმა და ზომა.

ნეფელომეტრია - მეთოდს საფუძვლად უდევს *რელეის* განტოლება, რომელიც შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$I=I_{o} \quad \forall=I_{o} \ \text{ც}V$$

(4.21)

სადაც მუდმივა აერთიანებს განტოლებაში შემავალ ყველა მუდმივ სიდიდეს, რომლებიც გაზომვის დროს არ იცვლება. განბნეული სინათლის ინტენსივობის გაზომვის საფუძველზე შეიძლება ზოლში ნაწილაკების ზომის, ფორმისა და კონცენტრაციის დადგენა.

(4.21) ფორმულიდან ჩანს, რომ ორი, ერთნაირი ფორმისა და ზომის ($V_1 = V_2$) ნაწილაკების შემცველი ზოლის მიერ განბნეული სინათლის ინტენსივობები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მათი ნაწილაკობრივი კონცენტრაციები:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\neg_1}{\neg_2}$$

ერთნაირი კონცენტრაციის ზოლების შემთხვევაში კი ინტესსივობების ფარდობა ნაწილაკების მოცულობათა ფარდობის ტოლია:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3} \qquad (4.22)$$

ნეფელომეტრიაში საკვლევი ზოლის მიერ განბნეული სინათლის ინტენსივობას ადარებენ სტანდარტული ზოლით განბნეულ სინათლის ინტენსივობასთან და ზემოთ მოყვანილი ფორმულებით ანგარიშობენ საკვლევ სისტემაში ნაწილაკების კონცენტრაციასა და მათ ზომას.

თუ გავითვალისწინებთ განბნეული სინათლის ინტენსივობის შედარებით მცირე მნიშვნელობას, შეიძლება დავწეროთ, რომ ზოლის სიმღვრივე:

$$=I/I_0 \qquad (4.23)$$

ან რელეის ფორმულიდან გამომდინარე:

$$= CV \qquad (4.24)$$

ნეფელომეტრიული მეთოდი ფართოდ გამოიყენება პოლიმერების მოლეკულური მასის განსაზღვრისათვის. ამ მიზნით (4.21) განტოლებას ასე წერენ:

$$I = I_0 C \quad /\rho \qquad (4.25)$$

სადაც პოლიმერის მოლეკულური მასაა; - ავოგადროს რიცხვი; კი პოლიმერის სიმკვრივე. (4.25) და (4.23) განტოლებათა გათვალისწინებით მიიღება:

$$= / C \qquad (4.26)$$

სადაც

$$= \quad / \quad \rho$$

(4.27)

ნეფელომეტრი განბნეული სინათლის ინტენსივობის გასაზომი, ფოტოკოლორიმეტრის ანალოგიური ხელსაწყოა. პრინციპული განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ ნეფელომეტრში სინათლის წყარო მოთავსებულია რეგისტრირებული განბნეული სხივის მიმართ გარკვეული კუთხით. გარდა ამისა, ხელსაწყოში გათვალისწინებულია სხვადასხვა კუთხით განბნეული სინათლის რეგისტრაციის შესაძლებლობა.

IV თავის ძირითადი დასკვნები

1. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია მოლეკულების თავისთავადი მოძრაობის კანონებს სწავლობს;

2. ინგლისელმა ბოტანიკოსმა *ბროუნმა* 1828 წელს აღმოაჩინა მიკრონაწილაკების უწყვეტი და უწესრიგო მოძრაობა, რომელსაც შემდგომში *ბროუნის მოძრაობა* ეწოდა. *აინშტაინისა* და *სმოლუხოვსკის* მიერ შექმნილი ბროუნის მოძრაობის თეორიის საფუძველი სადისპერსიო გარემოს (სითხე ან აირი) მოლეკულათა დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებთან დაჯახებაა, რაც მათი უწყვეტი და ქაოტური მოძრაობის ძირითადი მიზეზია;

3. ბროუნის მოძრაობის ქაოტურობა მთელ სადისპერსიო გარემოში დისპერსიული ფაზის თანაბარ განაწილებას იწვევს;

4. თბური მოძრაობის შედეგად სისტემის მთელ მოცულობაში ნაწილაკთა კონცენტრაციის თავისთავად გათანაბრების პროცესს *დიფუზია* ეწოდება;

5. დიფუზიის კოეფიციენტი პირდაპირპროპორციულადაა დამოკიდებული სისტემის ტემპერატურაზე და ნაწილაკთა ზომისა და გარემოს სიბლანტის უკუპროპორციულია.

$$D = \frac{RT}{6\pi\eta rN}$$

6. დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების თბური მოძრაობის გამო კოლოიდური სისტემები, ჭეშმარიტი ხსნარების მსგავსად ოსმოსური წნევით ხასიათდება;

7. კოლოიდურ სისტემებში ოსმოსური წნევა ნაწილაკის მასის ან რადიუსის კუბის უკუპროპორციულია

$$\frac{P_{ოსმ1}}{P_{ოსმ2}} = \frac{m_2}{m_1} \qquad \frac{P_{ოსმ1}}{P_{ოსმ2}} = \frac{r_2^3}{r_1^3}$$

8. სიმძიმის ძალის გავლენით დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა დალექვის პროცესს *სედიმენტაცია* ეწოდება;

9. კოლოიდურ სიტემებში სიმაღლის მიხედვით ნივთიერების განაწილება *ჰიფსომეტრული კანონის* შესაბამისად ხდება

$$(=(_0 e^{-mgh/KT}$$

10. *სედიმენტაციურ ანალიზს* საფუძვლად უდევს შემდეგი განტოლებანი:

$$= \frac{H}{t} \qquad \text{ } = K\sqrt{U}$$

11. ფაზათა გამყოფი ზედაპირის არსებობა დისპერსიულ სისტემებში მათზე დაცემული სინათლის სხივის მიმართულების შეცვლას (არეკვლა და გარდატეხა) ან სხივთა კონის განსხვავებულ შთანთქმის უნარს განაპირობებს, სწორედ ამის გამო დისპერსიული სისტემები ფაზური და შესაბამისად, ოპტიკური არაერთგვაროვნებით ხასიათდება;

12. დისპერსიულობის ხარისხის ზრდა კოლოიდურ სისტემებში სინათლის დიფრაქციულ განბნევას – *ოპალესცენციას* იწვევს. *რელეის განტოლებას* განბნეული სინათლის სხივის ინტენსივობის გამოსათვლელად შემდეგი სახე აქვს:

$$I = I_* \frac{24\pi^3 \nu^2}{a^4} * \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 - 2n_0^2} \right)^2$$

13. ნაწილაკების ზომის გაზრდით (რ) სინათლის განბნევა არეკვლით იცვლება;

14. სინათლის შთანთქმა დისპერსიულ სისტემებში *ბუგერ-ლამბერტ-ბეერის* კანონს ემორჩილება, რომლის თანახმად

$$I = I\, e^{-Klc}$$

5. დისპერსიული სისტემების მდგრადობა და კოაგულაცია

დისპერსიული სისტემა მდგრადია, თუ მისი ძირითადი პარამეტრები – დისპერსიულობის ხარისხი და სადისპერსიო გარემოში დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების თანაბარი განაწილება დროში უცვლელია.

დისპერსიული სისტემის მდგრადობა ერთ–ერთი უმნიშვნელოვანესი და ურთულესი პრობლემაა კოლოიდურ ქიმიაში. მდგრადობის შენარჩუნება აუცილებელია დისპერსიული სისტემებისაგან სხვადასხვა სახის ნაკეთობათა, დანაფარების, სამკურნალო პრეპარატებისა და სხვა მასალების მისაღებად. მდგრადობის ლიკვიდაცია კი გამოიყენება საჭირო სტრუქტურების წარმოსაქმნელად საწარმოო მასალებში, ნალექების მისაღებად, სამრეწველო გამონაბოლქვების გასაწმენდად და ა.შ.

დისპერსიული სისტემების მდგრადობა ორი სახისაა: *კინეტიკური (სედიმენტაციური)* და *აგრეგატული.*

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

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

მიკროჰეტეროგენულ სისტემებში (სუსპენზიები, ემულსიები) ხშირად ირღვევა კინეტიკური მდგრადობა ნაწილაკთა დალექვის გამო, რასაც დისპერსიული სისტემის დაშლამდე მივყავართ. მაღალდისპერსიული კოლოიდური სისტემები კი კინეტიკურად მდგრადი სისტემებია, მათთვის დამახასიათებელია სედიმენტაციურ-დიფუზიური წონასწორობა.

აგრეგატული მდგრადობა შეიძლება იყოს *თერმოდინამიკური* და *კინეტიკური*. თერმოდინამიკურად მდგრადი სისტემა მიიღება ერთი ფაზის თავისთავადი დისპერგირებით მეორეში. პროცესი მიდის სისტემის თავისუფალი ენერგიის შემცირების ხარჯზე. თავისუფალი ენერგიის ცვლილება შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\Delta = \Delta - T\Delta S <$$

ასეთ სისტემებს *ლიოფილური დისპერსიული სისტემები* ეწოდება.

ლიოფობური კოლოიდური სისტემები თერმოდინამიკურად არამდგრადნი არიან. მათში ფაზის დისპერგირება ხდება გარედან შესრულებული მუშაობის ხარჯზე, შესაბამისად:

$$\Delta = \Delta - T\Delta S >$$

ლიოფობური კოლოიდური სისტემები ფლობს ჭარბ თავისუფალ ზედაპირულ ენერგიას, რის გამოც მათში ნაწილაკების გამსხვილების პროცესი თავისთავად, თავისუფალი ენერგიის შემცირების გზით მიმდინარეობს. ამიტომ ისინი აგრეგატულად არამდგრადი სისტემებია.

ნაწილაკების გამსხვილება (აგრეგაცია) შეიძლება მოხდეს ორი გზით: *იზოთერმული გამოხდითა* და *კოაგულაციით.*

იზოთერმული გამოხდა არის ნივთიერების გადატანა წვრილიდან მსხვილ ნაწილაკებზე, რომელთა ქიმიური პოტენციალი წვრილ ნაწილაკებთან შედარებით ნაკლებია. ამის შედეგად სისტემაში მიმდინარეობს მსხვილი ნაწილაკების ზომის ზრდა წვრილი ნაწილაკების გაქრობის (გახსნის) ხარჯზე.

კოაგულაცია არის კოლოიდური ნაწილაკების შეწებებით ბევრად უფრო დიდი ზომის აგრეგატების წარმოქმნა და ამის გამო აგრეგატული მდგრადობის დაკარგვა, რაც მათ შემდგომ დალექვას და კოლოიდური სისტემის დაშლას იწვევს. წარმოქმნილი კოაგულატი შეიძლება იყოს სხვადასხვაგვარი სტრუქტურის მქონე ნალექი ან სადისპერსიო არეში მოტივტივე წარმონაქმნი, მაგალითად: მკვრივი, ხაჭოსებრი, ბამბისებრი, ბოჭკოსებრი და ა.შ.

არასტაბილიზირებული ლიოფობური სისტემების აგრეგატული მდგრადობა ძირითადად კინეტიკური ხასიათისაა. მისი დაკარგვა იწვევს სისტემაში კოაგულაციას, რომლის პირველი საფეხურია დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების დაახლოება და მცირე მანძილზე მათი ურთიერთფიქსაცია ისე, რომ ნაწილაკებს შორის რჩება სადისპერსიო გარემოს თხელი შრე. ამის შედეგად წარმოიქმნება ან *ფლოკულები,* ან *კოაგულაციური სტრუქტურები.* ფლოკულაცია არის აგრეგატების წარმოქმნა რამდენიმე (3,4,5...) ნაწილაკისაგან, რომელთა შორის მოთავსებულია სადისპერსიო გარემოს თხელი შრე. შებრუნებულ პროცესს – სპეციალური ნივთიერებების დამატებით ნალექის ან სტრუქტურირებული სისტემის გადაყვანას თავისუფალდისპერ-

სიულ სისტემაში, *პეპტიზაცია* ეწოდება. მაშასადამე, *კოაგულაციის პირველი საფეხური შექცევადი პროცესია.*

კოაგულაციის მეორე, უფრო ღრმა პროცესი მიმდინარეობს ნაწილაკებს შორის სითხის შრის დარღვევით, რის გამოც ადგილი აქვს ნაწილაკების უშუალო კონტაქტს. ამის შედეგად მყარი ნაწილაკებისაგან მიიღება მკვრივი *აგრეგატები*, თხევადი დისპერსიული ფაზის შემთხვევაში ხდება ნაწილაკთა სრული შერწყმა – *კოალესცენცია.* კონცენტრირებულ ხსნარებში კი წარმოიქმნება მყარი სხეულების კონდესაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურები, რომელთა გადაყვანა თავისუფალდისპერსიულ სისტემაში შეიძლება მხოლოდ იძულებითი დისპერგირებით. ე.ი *კოაგულაციის ეს საფეხური შეუქცევადია.*

ამგვარად, *კოაგულაცია რამდენიმე პროცესს მოიცავს, ყოველი მათგანი დისპერსიული ფაზის ხვედრითი ზედაპირისა და, შესაბამისად, თავისუფალი ენერგიის შემცირებით მიმდინარეობს.*

ლიოფობური სისტემების აგრეგატული მდგრადობა განისაზღვრება *კოაგულაციის სიჩქარის* სიდიდით, რომელიც ბროუნის მოძრაობის ინტენსიურობის გარდა ნაწილაკების გარემომცველი შრეების თვისებებზეცაა დამოკიდებული. ამ შრეების ბუნებისა და მათი ურთიერთგანმზიდავი მოქმედების მიხედვით ახდენენ დისპერსიული სისტემების მდგრადობის ფაქტორთა კლასიფიკაციას.

თუ კოაგულაციის მიზეზი ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ჭარბი ენერგიაა, მაშინ ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც ფაზათა გამყოფი ზედაპირის უცვლელობისას სისტემის მდგრადობას უზრუნველყოფენ, იქნება ნივთიერებები, რომლებიც ამცირებენ ზედაპირულ

დაჭიმულობას. მათ *მდგრადობის თერმოდინამიკური ფაქტორები ეწოდება.*

მნიშვნელოვანია კოაგულაციისადმი მდგრადობის სამი ძირითადი ფაქტორი:

1) *ელექტროსტატიკური ფაქტორი,* რომელიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნის ხარჯზე ამცირებს ზედაპირულ დაჭიმულობას;

2) *ადსორბციულ-სოლვატური ფაქტორი,* რომელიც სადისპერსიო გარემოსთან ურთიერთქმედებისას დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების ირგვლივ სოლვატურ შრეს წარმოქმნის, რაც თავის მხრივ ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირებას იწვევს.

3) *კინეტიკური ფაქტორი,* რომელიც ძირითადად დისპერსიული სისტემის ჰიდროდინამიკურ და სტრუქტურულ-მექანიკურ თვისებებთანაა დაკავშირებული. *სტრუქტურულ–მექანიკური ფაქტორის* მოქმედებისას ნაწილაკების ზედაპირზე მაღალმოლეკულური ან ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მიერ გარკვეული სიმტკიცისა და დრეკადობის მქონე შრეები წარმოიქმნება, რომლთა დარღვევისათვის გარკვეული დრო და ენერგიაა საჭირო.

აგრეგატული მდგრადობის თერმოდინამიკას საფუძვლად უდევს *გამპობადი წნევის ცნება.* დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა ურთიერთმიახლოებისას სითხის აპკის სისქე მცირდება და კოლოიდურ ნაწილაკთა ზედაპირული შრეების ურთიერთქმედების გაძლიერების გამო აღიძვრება *გამპობადი წნევა. აპკი* ეწოდება სადისპერსიო გარემოს იმ ნაწილს, რომელიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა გამყოფ ზედაპირებს შორისაა მოთავსებული.

გამპობადი წნევა შეიძლება განვიხილოთ როგორც წნევა, რომელიც ნაწილაკების მხრიდან მოქმედებს აპკზე და ინარჩუნებს მის წონასწორულ სისქეს. ამ თვალსაზრისით, გამპობადი წნევა წარმოადგენს აპკსა და მის შემომსაზღვრელ ფაზებს შორის ჰიდროსტატიკურ წნევათა სხვაობას

$$ჰ = \quad - \quad ო$$

(5.1)

სადაც წნევაა აპკში, ო – ჰიდროსტატიკური წნევა აპკთან წონასწორობაში მყოფ თხევად ფაზაში, რომლის ნაწილსაც აპკი წარმოადგენს.

გამპობადი წნევა ჯამური სიდიდეა, რომელიც აპკში მოქმედი მიზიდვისა და განზიდვის ძალების ტოლქმედის ტოლია. შესაბამისად, მისი სიდიდე შეიძლება იყოს უარყოფითი ან დადებითი. *გამპობადი წნევის უარყოფითი მდგენელი* (აპკის შეკუმშვა) განპირობებულია ატომებსა და მოლეკულებს შორის მიზიდვის ძალებით როგორც ცალკეული ფაზის შიგნით, ისე ფაზებს შორისაც. *დადებითი მდგენელი* (განზიდვა) კი თხელ აპკში მყოფი მოლეკულებისა და იონების პოტენციალური ენერგიის ზრდითაა განპირობებული.

5.1. ლიოფობური კოლოიდური სისტემების მდგრადობისა და კოაგულაციის თეორიული საფუძვლები

კოლოიდური სისტემების მდგრადობისა და კოაგულაციის ხარისხი დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედებაზეა დამოკიდებული, ამიტომ მდგრადობის თეორიებს ნაწილაკებს შორის მიზიდვა-განზიდვის ენერგიების თანაფარდობა უდევს საფუძვლად. ნაწილაკებს შორის მიზიდვის ძალები განპირობებულია

მოლეკულათაშორისი (ვან-დერ-ვაალსის) ადსორბციული ბუნების ძალებით. განზიდვის ძალები კი, მდგრადობის (სტაბილიზაციის) ფაქტორებიდან გამომდინარე, შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს.

დისპერსიული სისტემების სიმრავლის გამო მდგრადობის ერთიანი რაოდენობრივი თეორიის შექმნა მეცნიერთათვის დღემდე გადაუჭრელ ამოცანას წარმოადგენს.

დღეისათვის უპირატესობა ენიჭება რუსი მეცნიერების *დერიაგინისა* და *ლანდაუს* (1937-1941 წ.) და უფრო გვიან ჰოლანდიელი მეცნიერების – *ფერვეისა* და *ოვერბეკის* მიერ შემუშავებულ თეორიას, რომელიც **დლფო**-ს თეორიის სახელწოდებითაა ცნობილი და ავტორთა გვარების აბრევიატურას წარმოადგენს.

დლფო-ს თეორიის კლასიკურ ვარიანტში კოაგულაციის პროცესი ნაწილაკებს შორის ვან-დერ-ვაალსის მიზიდვისა და ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალების ერთდროული მოქმედების შედეგია. ამ ძალებს შორის ბალანსზეა დამოკიდებული ნაწილაკების ურთიერთმიახლოებისას სადისპერსიო გარემოს თხელ აპკში დადებითი გამპობადი წნევის (რომელიც ნაწილაკთა შორის განზიდვას იწვევს) ან უარყოფითი წნევის წარმოქმნა, რომელიც იწვევს აპკის შეკუმშვასა და ნაწილაკებს შორის უშუალო კონტაქტს.

დლფო-ს თეორიის ძირითადი აზრისა და შედეგების უკეთ აღქმის მიზნით, განვიხილოთ ორი მსხვილი ნაწილაკის ურთიერთქმედება, რომელთათვის სითბური (ბროუნის) მოძრაობა შეიძლება უგულებელვყოთ. წარმოვიდგინოთ ეს ნაწილაკები როგორც ორი ურთიერთპარალელური ფირფიტა, რომელთა ხაზოვანი ზომები მათ ზედაპირზე არსებულ ორმაგი ელექტრული შრის სისქეზე გაცილებით დიდია.

ფირფიტებს შორის ურთიერთქმედების საერთო ენერგია ფირფიტის ფართობის ერთეულზე გადაანგარიშებით იქნება:

$$= _{განზ} + _{მიზ} \qquad (5.2)$$

სადაც $_{განზ}$ და $_{მიზ}$ ნაწილაკებს შორის განზიდვისა და მიზიდვის ენერგიებია, რომლებიც ნაწილაკთა შორის მანძილის (ჰ) ფუნქციას წარმოადგენს..

$$ _{განზ(ჰ)}= _{განზ} ^{-ჰ}$$

(5.3)

$$ _{მიზ(ჰ)}= _{მიზ} ^{-ჰ}$$

სადაც $_{განზ}$ და $_{მიზ}$ განზიდვისა და მიზიდვის გამპობი წნევებია. $_{მიზ(ჰ)}$ განპირობებულია მოლეკულათაშორისი მიზიდვის ძალებით, $_{განზ(ჰ)}$ კი – მხოლოდ ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალებით, ამიტომ

$$ _{განზ}= \qquad (5.4)$$

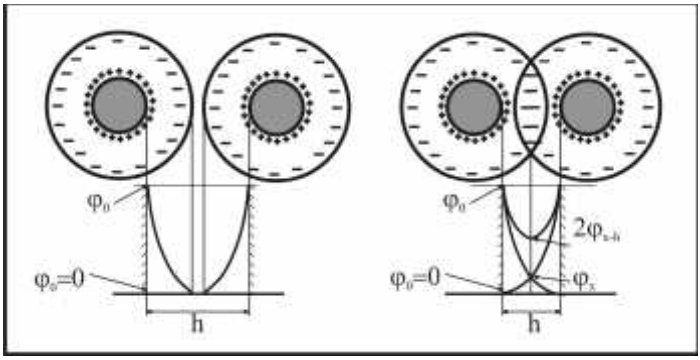
სადაც ორმაგი ელექტრული შრის ელექტრული მუხტის სიმკვრივეა, ხოლო ოეშ ელექტრული პოტენციალი.

მუხტის მოცულობით განაწილებას ოეშ-ში აღწერს *შტერნის თეორია*. დლფო-ს თეორიის თანახმად, ნაწილაკთა ურთიერთქმედებისას ხდება ოეშ-ის დიფუზიური ნაწილის დეფორმაცია, ამიტომ -ის მცირე მნიშვნელობისათვის მისი სიდიდე, *გუი-ჩაპმენის* თეორიის თანახმად, შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$ _{x} = _{¢} e^{-ix}$$

(5.5)

სადაც დიფუზური შრის პოტენციალია; - დიფუზიური შრის სისქის შებრუნებული სიდიდე ($=\frac{1}{a}$), ხოლო ხ მანძილი ფაზათა გამყოფი ზედაპირიდან დიფუზიური შრის მოცემულ წერტილამდე. როდესაც ნაწილაკები იმყოფებიან ჰ = 2ხ მანძილზე, ისინი არ ურთიერთქმედებენ, მათი ოეშ-ები არ გადაიფარებიან და თითოეულ შრეში პოტენციალი ნულამდე ეცემა (ნახ 5.1.ა). უფრო მცირე მანძილზე ნაწილაკების დაახლოებისას ოეშ-ები გადაიფარებიან და ხ პოტენციალი ფირფიტებს შორის ნულამდე აღარ მცირდება; შუა მანძილზე კი, როცა ჰ=ხ, სიმეტრიის გათვალისწინებით, პოტენციალის მნიშვნელობა მინიმალურია და უტოლდება 2 ხ=ჰ (ნახ 5.1-ბ).



ნახ 5.1. პოტენციალის განაწილება ორ ერთნაირმუხტიან ნაწილაკს შორის ოეშ-ების გადაფარვამდე (ა) და გადაფარვის შემდეგ (ბ).

ხსნარში ისეთივე ნიშნის პოტენციალის არსებობა, როგორიც ფირფიტების ზედაპირს აქვს, იწვევს მათ ურთიერთგანზიდვას, ანუ *განზიდვის გამპობად წნევას.*

(5.5) ფორმულა მხოლოდ ფირფიტასთან ახლო მანძილებზე გამოდგება. *პუასონ-ბოლცმანის* განტოლების თანახმად, -ს მცირე მნიშვნელობისათვის, -ს მნიშვნელობის გათვალისწინებით, განზიდვის წნევა შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$_{განზ(ჰ)} = 2 \quad ^{2} \cdot\cdot \frac{0}{x}$$

რომელშიც ხ-ის და ჰ=2ხ მნიშვნელობების ჩასმით საბოლოოდ მივიღებთ:

$$_{განზ(ჰ)}=2 \quad ^{2} \cdot\cdot ^{2} ¢ ე^{-} \ ^{ჰ}$$

(5.6)

სადაც, ელექტრული მუდმივაა, კი - სადისპერსიო გარემოს დიელექტრიკული მუდმივა. ანალოგიური მსჯელობით მაღალი პოტენციალებისთვის მიიღება:

$$_{განზ(ჰ)}=64_{ცოღთ} \ ^{2}ე^{-} \ ^{ჰ}$$

(5.7)

სადაც ცო ხსნარში საწინააღმდეგო იონების კონცენტრაციაა, კი - მუდმივა, რომელიც ¨¢-ს ფუნქციაა. ფირფიტებს შორის განზიდვის ენერგიას მივიღებთ ჰ÷ ინტერვალში (5.3) განტოლების ინტეგრირებით და მასში (5.6)-დან *განზ* მნიშვნელობის ჩასმით

$$_{განზ(ჰ)}=2 \quad \cdot\cdot ^{2} ¢ ე^{-} \ ^{ჰ}$$

(5.8)

ამრიგად, ფირფიტებს (ნაწილაკებს) შორის ურთიერთგანზიდვის ენერგია, ისევე როგორც გამპობადი წნევის ელექტროსტატიკური მდგენელი, ფირფიტებს შორის მანძილის ზრდით ექსპონენციალურად მცირდება.

ფირფიტებს შორის მიზიდვის ენერგია, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, განპირობებულია ვან-დერ-ვაალსის ძალებით. მათგან უნივერსალურია ლონდონის

დისპერსიული ძალები, რომლებიც ხასიათდება ადიტიურობით და შეიძლება ადვილად განისაზღვროს ორივე ნაწილაკში მოლეკულებსა და ატომებს შორის ურთიერთქმედი ძალების შეკრებით (ინტეგრირებით). ასეთი მიახლოებითი გამოთვლა ჩატარებული იქნა *ჰამაკერის* მიერ, რომლის საფუძველზე მიზ ზედაპირის 1 სმ^2-ზე გადაანგარიშებით ტოლია:

$$\text{მიზ(ჰ)} = -\frac{A_{1,2}}{12\pi h^2} \qquad (5.9)$$

სადაც $A_{1,2} = {}^2\rho_C$, $A_{1,2}$ *ჰამაკერის მუდმივაა*, რომელიც ნაწილაკების ურთიერთმიზიდვას ითვალისწინებს; C – ნაწილაკების ბუნებაზე დამოკიდებული მუდმივა; n კი – მოლეკულათა რიცხვი დისპერსიული ფაზის ნაწილაკის მოცულობის ერთეულში.

(5.9) ფორმულის თანახმად ფირფიტებს შორის მიზიდვის ენერგია მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. $A_{1,2}$-ს ენერგიის განზომილება აქვს და დაახლოებით 10^{-12} ერგს უდრის. (5.9) განტოლება გამოყვანილი იქნა იმ დაშვებით, რომ ფირფიტების ურთიერთქმედება ვაკუუმში ხდება. სადისპერსიო გარემოს თანაობისას $A_{1,2}$ იცვლება A^*-ით და, შესაბამისად:

$$\text{მიზ(ჰ)} = -\frac{A^*}{12\pi h^2} \qquad (5.10)$$

სადაც $A^* = A_1 + A_0 - A_{0,1}$

A_1 და A_0 დისპერსიული ფაზისა და გარემოს *ჰამაკერის მუდმივებია*, $A_{0,1}$ კი - დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო გარემოს ურთიერთქმედების მუდმივა. რაც მეტია $A_{0,1}$, მით ნაკლებია A^*, ანუ ნაკლებია ფირფიტებს შორის მიზიდვის ენერგია. ფირფიტებს

შორის ურთიერთქმედების ჯამური ენერგია (5.2) ფორმულის თანახმად, იქნება:

$$ჯ = განზ(ჯ) + მიზ(ჯ) = 2 \cdot ¢ ე \cdot \frac{A^{\bullet}}{12®h^2} \qquad (5.11)$$

დლფო-ს თეორიის თანახმად, (5.11) განტოლება განსაზღვრავს კოლოიდური სისტემის ქცევას. მისი მდგრადობა ან კოაგულაციის სიჩქარე დამოკიდებულია ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების ჯამურ ენერგიაზე. მცირე და დიდ მანძილებზე დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს შორის მიზიდვის ენერგია ჭარბობს, საშუალო მანძილებზე კი განზავებულ ხსნარებში, როდესაც დიფუზიური შრის სისქე ( ) და ელექტრული პოტენციალი (საკმაოდ დიდია, ჭარბობს განზიდვის ენერგია. ასეთ შემთხვევაში =ფ(ჯ) მრუდზე ჩნდება მაქსიმუმი – *პოტენციალური ბარიერი* ( ) და ორი მინიმუმი (ნახ 5.2).

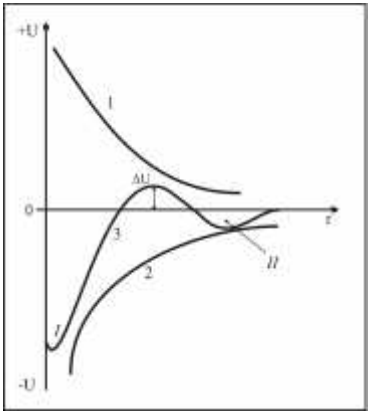
კოაგულაციის ელემენტარულ აქტში ნაწილაკების დაახლოებისა და კოაგულაციის დაწყების შესაძლებლობას (ალბათობას) განსაზღვრავს პოტენციალური ბარიერის (Δ) სიმაღლე, რომელიც ელექტროლიტის კონცენტრაციასა და სისტემაში არსებულ სხვა სტაბილიზატორებზეა დამოკიდებული. პოტენციალური ბარიერის სიმაღლის შემცირება დიფუზიური შრის სისქის (ან პოტენციალის (-ს შემცირებით შეიძლება.

თუ ბარიერის სიმაღლე და მეორე მინიმუმის სიღრმე მცირეა (Δ ≤ თ), ბროუნის მოძრაობის შედეგად ნაწილაკები ერთმანეთს უახლოვდებიან ისეთ შესაძლო უმცირეს მანძილზე, რომელზეც ხდება პირველი მინიმუმის სიღრმემდე სისტემის ენერგიის შემცირება. კოაგულაციის ელემენტარულ აქტში ახლო ურთიერთქმედების შედეგად ხდება ნაწილაკების შეწებება. ასეთი სისტემები არამდგრადია და უმეტეს

შემთხვევაში კოაგულაცია არაშექცევადად მიდის, რადგან პირველი მინიმუმის სიღრმე, ჩვეულებრივ, ბევრად მეტია თ-ს სიდიდეზე (თ-ნაწილაკების თბური მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგიაა).

თუ ბარიერის სიმაღლე დიდია ($\Delta >> თ$), ხოლო მეორე მინიმუმის სიღრმე - მცირე ($\leq თ$), მაშინ ნაწილაკები ვერ გადალახავენ ენერგეტიკულ ბარიერს და ურთიერთშეწებების (კოაგულაცია) გარეშე შორდებიან ერთმანეთს. ასეთი სისტემები აგრეგატულად მით უფრო მდგრადია, რაც უფრო მეტია ენერგეტიკული ბარიერის სიმაღლე.

თუ მეორე მინიმუმის სიღრმე დიდია, მაშინ ბარიერის სიმაღლისაგან დამოუკიდებლად ხდება ნაწილაკების ე.წ. *შორი ურთიერთქმედება* და მათი ურთიერთფიქსაცია დაახლოებით 100 ნანომეტრზე, რაც მეორე მინიმუმში ნაწილაკთა შორის მანძილს შეესაბამება. ასეთ სისტემებში ნაწილაკების *სწრაფი*



ნახ 5.2. ნაწილაკებს შორის განზიდვის (1) და მიზიდვის (2) ენერგიებისა და მათი ჯამური ენერგიის (3) დამოკიდებულება ნაწილაკებს შორის მანძილზე

ფლოკულაცია მიმდინარეობს. ამ დროს ნაწილაკთა შორის სადისპერსიო გარემოს თხელი ფენის არსებობის გამო მათ შორის უშუალო კონტაქტი არ მყარდება, მაგრამ ნაწილაკები არც შორდებიან ერთმანეთს. ასეთ მდგომარეობაში სისტემაში შესაძლებელია *შექცევადი* პროცესის-დეზაგრეგაციის(ფლოკულების დაშლა)დაწყება.პროცესი მით უფრო სწრაფად მიდის, რაც უფრო მცირეა II პოტენციალური მინიმუმის სიღრმე. დისპერსიული ფაზის საკმაო კონცენტრაციის შემთხვევაში კი ხდება ზოლის გარდაქმნა მთლიანად სტრუქტურირებულ სისტემაში (*გელი).*

კოლოიდური სისტემების *მდგრადობის ელექტროსტატიკური თეორია* მართებულია იმ სისტემებისათვის, რომელთა მდგრადობა ნაწილაკთა ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნითაა გამოწვეული. მდგრადობის ელექტროსტატიკური ფაქტორი დამახასიათებელია წყლიანი სადისპერსიო გარემოს მქონე დისპერსიული სისტემებისათვის. წყალი წარმოადგენს ელექტროლიტთა დისოციაციისა და, აქედან გამომდინარე, ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნისათვის ხელსაყრელ გარემოს.

როგორც ვხედავთ, დლფო-ს თეორია ამყარებს კავშირს ორმაგი ელექტრული შრის თვისებებსა და დისპერსიული სისტემების მდგრადობას შორის.

5.2. ჩქარი კოაგულაციის კინეტიკა

ლიოფობური კოლოიდური სისტემების მდგრადობაზე მსჯელობა კოაგულაციის სიჩქარის მიხედვითაა შესაძლებელი. ზოგი სისტემა მიღებიდან რამდენიმე წამში კოაგულირდება, ზოგი კი დღეების, თვეების და ზოგჯერ წლების განმავლობაში ინარჩუნებს

მდგრადობას. *კოაგულაციის სიჩქარე არის ნაწილაკთა რიცხვის ცვლილება დროში. იგი კოაგულაციის პროცესის რაოდენობრივი საზომია*

$$V=-d/dt$$

გამოკვლევებმა ცხადჰყო, რომ *კოაგულაციის სიჩქარე სადისპერსიო არეში დამატებული ელექტროლიტის კონცენტრაციაზეა დამოკიდებული. კონცენტრაციის* მცირე მნიშვნელობისათვის კოაგულაცია არ მიმდინარეობს (V=0), კონცენტრაციის შემდგომი მატებისას გარკვეულ მცირე ინტერვალში შეიმჩნევა კოაგულაციის სიჩქარის სწრაფი ზრდა, რომელიც ელექტროლიტის კონცენტრაციის შემდგომი ზრდით აღარ იცვლება. ამის შესაბამისად შეიძლება გამოვყოთ სამი უბანი: *მდგრადობის, ნელი და ჩქარი კოაგულაციის.*

ელექტროლიტის კონცენტრაციის გაზრდით მცირდება ენერგეტიკული ბარიერის ( ) სიმაღლე შესაბამისად, ზემოთ აღნიშნული კანონზომიერება შეიძლება შემდეგნაირად აიხსნას: დამატებული ელექტროლიტის მცირე რაოდენობა საკმარისი არაა ენერგეტიკული ბარიერის იმ დონემდე შესამცირებლად, რომელზეც ბროუნის მოძრაობის შედეგად ნაწილაკების ურთიერთდაჯახება შეიძლება შეწებებით დამთავრდეს. ამ უბანში ზოლი აგრეგატულად მდგრადია. *დაჯახებათა ეფექტურობა-* (შეწებებით დამთავრებული დაჯახებათა რიცხვის ფარდობა დაჯახებათა საერთო რიცხვთან) ნულის ტოლია. ელექტროლიტის დიდი რაოდენობით დამატება უკვე საკმარისია ენერგეტიკული ბარიერის მნიშვნელოვნად შესამცირებლად და კოაგულაციის დასაწყებად. *რაც მეტია დამატებული ელექტროლიტის რაოდენობა და, შესაბამისად, ნაკლებია ენერგეტიკული ბარიერის სიმაღლე, მით მეტია კოაგულაციის სიჩქარე.* ეს არის *არასტაბილიზირებული ზოლის უბანი.* დაჯახებათა

ეფექტურობა ამ უბანში სწრაფად იზრდება 0÷1-მდე. *კოაგულაციას, რომლის დროსაც ნაწილაკების ყველა დაჯახება მათი შეწებებით არ მთავრდება, ნელი კოაგულაცია ეწოდება.* დამატებული ელექტროლიტის შემდგომი გაზრდით კოაგულაციის სიჩქარე მაქსიმუმს აღწევს და აღარ იცვლება. ეს უბანი შეესაბამება მთლიანად არასტაბილიზირებულ ზოლს, ნაწილაკების ყველა დაჯახება შეწებებით მთავრდება და დაჯახებათა ეფექტურობა =1. *კოაგულაციას, რომლის დროსაც ნაწილაკთა ყველა დაჯახება მათი შეწებებით მთავრდება, ჩქარი კოაგულაცია ეწოდება. "ნელი" და "ჩქარი" პირობითი ტერმინებია და ისინი კოაგულაციის პროცესის სიჩქარესთან საერთოდ არ არის დაკავშირებული.*

ჩქარი კოაგულაციის თეორია კოლოიდურ სისტემებში ბროუნის მოძრაობის (დიფუზიის) განხილვის საფუძველზე შეიმუშავა პოლონელმა მეცნიერმა *სმოლუხოვსკიმ.*

სმოლუხოვსკის თეორიას საფუძვლად უდევს წარმოდგენა, რომლის თანახმად ჩქარი კოაგულაციის სიჩქარე, ანუ დროის ერთეულში ნაწილაკთა კონცენტრაციის ცვლილება დამოკიდებულია:

1) ნაწილაკთა საწყის კონცენტრაციაზე;
2) ბროუნის მოძრაობის ინტენსიურობაზე, რომლის რაოდენობრივი მახასიათებელია დიფუზიის კოეფიციენტი - ;

3) მანძილზე (დ=2რ), რომელზეც ხდება ნაწილაკების ურთიერთქმედება, რ ნაწილაკის მიზიდვის ძალის მოქმედების რადიუსია.

მარიან სმოლუხოვსკი

(1872-1917)

სმოლუხოვსკის თეორია გამოყვანილია მონოდისპერსიული ზოლებისათვის იმ დაშვებით, რომ ნაწილაკებს სფერული ფორმა აქვს და ბროუნის მოძრაობის შედეგად ურთიერთქმედება ხდება მხოლოდ ორ ნაწილაკს შორის, რადგან მრავალი ნაწილაკის ერთდროული ურთიერთდაჯახების ალბათობა მეტად მცირეა. ე.ი. კოაგულაციის პროცესში ყოველ ელემენტარულ აქტში ერთმანეთს ეჯახება ორი ნაწილაკი: თითო-თითო ნაწილაკი ერთი ორმაგი ნაწილაკის წარმოქმნით, შემდეგ ასეთი გაორმაგებული ნაწილაკების ურთიერთშეჯახებით წარმოიქმნება ერთი ნაწილაკი, რომელიც ოთხ საწყის ნაწილაკს შეიცავს და ა.შ.

აღვნიშნოთ $_1$, , , ისეთ ნაწილაკთა კონცენტრაციები, რომლებიც შეიცავს თითო, ორ, სამ და ა.შ. საწყისი ზომის (ელემენტარულ) ნაწილაკს. საწყის მომენტში ($=0$), $_1= _0$, $_2= _3= _4=0$. გარკვეული დროის შემდეგ კი $\Sigma = _1+ _2+ _3+$, სადაც Σ ნაწილაკთა საერთო კონცენტრაციაა. ცხადია, რომ $\Sigma \quad _0$. ავირჩიოთ რომელიღაც რ რადიუსიანი ნაწილაკი და განვიხილოთ დიფუზიის ნარადი მისი მიმართულებით. *ფიკის კანონის* თანახმად, ნაწილაკების რიცხვის შემცირება დროში, ანუ კოაგულაციის სიჩქარე ტოლია:

$$-д \quad дტ=8 \quad д^2$$

(5.12)

პროცესი მიდის ბიმოლეკულური რეაქციის მსგავსად, რომლის სიჩქარეა:

$$-д \quad дტ= \text{ჩქ}^{\,2}$$

(5.13)

(5.12) და (5.13) გატოლებათა შედარებიდან გამოდის, რომ

$$\text{ჩქ}=8 \quad д$$

(5.14)

სადაც ჩქ კოაგულაციის სიჩქარის მუდმივაა და დამოკიდებულია დიფუზიის კოეფიციენტსა და ნაწილაკებს შორის д მანძილზე, რომელზეც ხდება მათი ურთიერთქმედება.

კოაგულაციის დაწყებიდან გარკვეული დროის შემდეგ ერთმანეთს ორმაგი ნაწილაკები ეჯახებიან, ორმაგი ნაწილაკები სამმაგს და ა.შ. თუ ყველა ასეთი სახის დაჯახებას გავითვალისწინებთ, მაშინ *ნაწილაკების საერთო რიცხვის ცვლილება დროში*, ანუ *კოაგულაციის სიჩქარე* იქნება:

$$-дΣ \quad дტ= \text{ჩქ}(Σ \quad ^2)$$

(5.15)

(5.15) განტოლების ინტეგრირებით (0÷ტ) ინტერვალსა და $_0$-დან Σ -მდე ზღვრებში მივიღებთ:

$$Σ \qquad _0/(1+ \text{ჩქ} \quad _0ტ)$$

(5.16)

(5.16) განტოლება საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ყველა სახის ნაწილაკის რაოდენობა ზოლში კოაგულაციის დაწყებიდან გარკვეული ტ დროის მონაკვეთში. მაგრამ ამ განტოლებაში შემავალი და д სიდიდეების განსაზღვრა საკმაოდ რთულ ამოცანას

წარმოადგენს. უფრო ადვილად შეიძლება განისაზღვროს *ნახევარკოაგულაციის პერიოდი*(- დრო, რომლის განმავლობაში ნაწილაკთა რიცხვი ზოლის მოცულობის ერთეულში ორჯერ მცირდება Σ $_0$ /2

(5.16) განტოლებაში ტ-ს შეცვლით -თი მიიღება:

$$_0 /2 = \ _0 /(1+ \ \text{ჩქ} \ 0$$

საიდანაც

$$\text{ჩქ} \ 0)$$

(5.17)

(5.17) ფორმულის გათვალისწინებით (5.16) ასე ჩაიწერება:

$$\Sigma \quad \frac{_\neg 0}{1+ t/_}$$

(5.18)

როგორც ვხედავთ, დამოკიდებულია დიფუზიის კოეფიციენტსა და ნაწილაკებს შორის მანძილზე. ეს სიდიდეები კი დაკავშირებულია აინშტაინის განტოლებით(4.3). მისი გათვალისწინებით (5.17)-დან მივიღებთ:

$$3 \ _0 \ 8 \ თ$$

(5.19)

სადაც = $\frac{R}{N}$ ბოლცმანის მუდმივაა; კი - სადისპერსიო გარემოს სიბლანტე.

(5.19) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ნახევარ- *კოაგულაციის პერიოდი დამოკიდებულია დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების საწყის კონცენტრაციაზე, კოლოიდური სისტემის სიბლანტესა და ტემპერატურაზე.*

(5.18) განტოლებით შეიძლება გამოვთვალოთ კოაგულაციის პერიოდი დროის ნებისმიერი მონენტისთვის, თუ გვეცოდინება $_0$ და Σ სიდიდეები. მეორე მხრივ, თუ ცნობილია და $_0$ სიდიდეები, შესაძლებელია გამოვთვალოთ Σ კოაგულაციის დაწყებიდან გარკვეული დროის შემდეგ და შევადაროთ იგი ცდით მიღებულ მონაცემებს, რომელიც ყველაზე მარტივად მიიღება ულტრამიკროსკოპში ნაწილაკების დათვლით.

სმოლუხოვსკის თეორია ექსპერიმენტულად მრავალგზის იქნა შემოწმებული ულტრამიკრისკოპიული, ნეფელომეტრიული და ტურბუდიმეტრიული მეთოდებით. თეორიის ექსპერიმენტული დასაბუთება კოაგულაციის პროცესების ახსნისთვის დიფუზიისა და ბროუნის მოძრაობის გამოყენების მართებულობის მშვენიერ მტკიცებულებად ითვლება.

5.3. ნელი კოაგულაციის თეორია

ნელი კოაგულაცია სისტემაში ენერგეტიკული ბარიერის არსებობის გამო დაჯახებათა არასრული ეფექტურობით შეიძლება აიხსნას. ფუქსმა აეროზოლებისათვის შექმნა ნელი კოაგულაციის სრულყოფილი თეორია, რომელშიც მოცემულია კავშირი დაჯახებათა ეფექტურობასა და პოტენციალურ ბარიერს შორის. ფუქსის თეორია ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედებას ითვალისწინებს კინეტიკურ განტოლებაში ენერგეტიკული ბარიერის დამახასიათებელი წევრის შემოტანით

$$-d\ /dt=4\quad e^{-\Delta U/KT}\ _2$$

(5.20)

სადაც სტერიული ფაქტორია და ნაწილაკების დაჯახებისას სივრცეში მათ ხელსაყრელ

ურთიერთგანლაგებას, ფორმასა და ზომას ითვალისწინებს. ნელი კოაგულაციის სიჩქარის მუდმივა:

$$= 4 \quad e^{-\Delta U/KT}$$

(5.21)

როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია, ჩქარი კოაგულაციის დროს =0 და =1, ხოლო

$$_{ჩქ} = 4$$

(5.22)

ნელი კოაგულაციის დროს 0 და 1. თუ საკმაოდ მეტია თ-ზე, მაშინ კოაგულაციის სიჩქარე ნულს უახლოვდება და სისტემა აგრეგატულად მდგრადია. (5.21) და (5.22) ფორმულებიდან ვიღებთ:

$$_{ნელი} = _{ჩქ} \; e^{-\Delta U/KT}$$

(5.23)

$$\frac{K_{ჩქ}}{K_{ნელი}} = \frac{1}{P} \; e^{-\Delta U/KT}$$

(5.24)

$\frac{K_{ჩქ}}{K_{ნელი}}$ =ψ, მას *შენელების კოეფიციენტი* ან *მდგრადობის ფაქტორი* ეწოდება, რომელიც გვიჩვენებს რამდენჯერ მცირდება ნელი კოაგულაციის სიჩქარის მუდმივა ჩქ-თან შედარებით. დად-გენილი იქნა, რომ სტერიული ფაქტორი

r, სადაც ოეშ-ის დიფუზიური ნაწილის სისქის შებრუნებული სიდიდეა, რ კი - ნაწილაკის რადიუსი.

მრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ *კოაგულაციის სიჩქარე მკვეთრად მცირდება ენერგეტიკული ბარიერის სიმაღლის, ნაწილაკებს ირგვლივ არსებული ორმაგი ელექტრული შრის დიფუზიური ნაწილის სისქის გაზრდითა და ნაწილაკთა რადიუსის შემცირებით.*

5.4. ლიოფობური კოლოიდური სისტემების კოაგულაცია ელექტროლიტებით

ტიპიური ლიოფობური კოლოიდური სისტემები სტაბილიზაციის ელექტროსტატიკური ფაქტორების მეშვეობით აგრეგატულად მდგრადია, მაგრამ ადვილად კოაგულირდება მათზე ელექტროლიტის დამატებისას. ელექტროლიტის იმ უმცირეს კონცენტრაციას ($c_к$), რომელიც *ნელი კოაგულაციის* დაწყებას იწვევს, *კოაგულაციის ზღურბლი* ეწოდება. ჩქარი კოაგულაციისათვის საჭიროა ელექტროლიტის ისეთი კონცენტრაცია, რომლის შემდგომი გაზრდით კოაგულაციის სიჩქარე აღარ იცვლება (როცა მდგრადობის ფაქტორი $\Psi = 1$ და $\zeta = 0$).

დლფო-ს თეორიის თანახმად, კოაგულაციას იწვევს ელექტროლიტის ის იონი, რომელსაც კოლოიდური ნაწილაკის საწინააღმდეგო მუხტი აქვს. ელექტროლიტის დამატებით ხდება დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებზე ორმაგი ელექტრული შრის შეკუმშვას, რის გამოც ისინი შეიძლება ერთმანეთს მიუახლოვდნენ ისეთ მანძილზე, რომელზეც ჭარბობს მიზიდულობის ძალები. ოეშ-ის სისქის შემცირებას თან ახლავს საწინააღმდეგო იონების მიმოცვლა კოაგულაციის გამომწვევ იონებთან.

ორმაგი შრის შეკუმშვა ხდება:

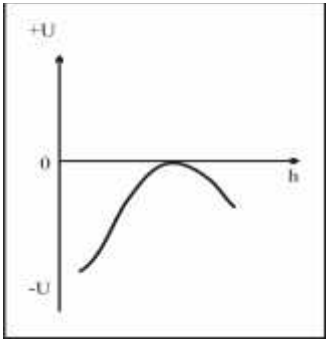
1) დამატებული ელექტროლიტის იონების სპეციფიკური ადსორბციის გამო ნაწილაკის ზედაპირული პოტენციალის შემცირებით;

2) ხსნარის იონური ძალის გადიდებისას საწინააღმდეგო ნიშნის იონების დიფუზიის შეზღუდვის გამო.

კოაგულაციის პროცესში პირველი ან მეორე მექნიზმის უპირატესი როლის შესაბამისად არსებობს ნეიტრალიზაცირი და კონცენტრაციული კოაგუ- ლაცია.

დლფო-ს თეორიის თანახმად, ელექტროლიტის იმ კონცენტრაციისათვის, რომელიც ჩქარი კოაგულაციის ზღურბლს შეესაბამე -ბა, პოტენციალური მრუდი მოთავსებულია უარყოფითი ენერგიის უბანში და მხო- ლოდ მისი მაქსიმუმი ეხება აბსცისათა ღერძს, სადაც პოტენციალური ბარიერის სიმაღლე =0 ნახ. (5.3).

ამ წერტილს ორი პირობა შეესაბამება: =0 და დ /დჰ=0. ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების ჯამური ენერგიაა, ჰ კი - მათ შორის მანძილი. ეს პირობები შეესაბამება ოეშ-ის პოტენციალის გარკვეულ კრიტიკულ – კრ მნიშვნელობას, რომელიც რჩება ნაწილაკზე კოაგულაციის მომენტში (25—40 მილივოლტი) და არა იზოელექტრულ წერტილს (როცა ჰ=0), როგორც ამას ადრე თვლიდნენ. ამ პირობებში ნაწილაკებს შორის მიზიდვის და განზიდვის ენერგიები ტოლია. ჰკრ=2/ კრ ან ჰკრ=2 კრ. რადგან კოაგულაციის პროცესში ორმაგი ელექტრული შრის სისქისა და პოტენციალის შემცი- რება ხდება, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ელექტროლიტის დამა- ტება მხოლოდ დიფუზიური შრის პოტენციალის ( ) და მისი სისქის



ნახ. 5.3. ჩქარი კოაგულაციისას დისპერსიული სისტემის პოტენციალური მრუდ

შებრუნებული სიდიდის = $\frac{1}{a}$ ცვლილებას იწვევს.

აღვნიშნოთ $\frac{2}{¢}\Big/ i_{კრ}$ = =ცონსტ, ან ზოგადად

$$\frac{2}{¢}\Big/ i_{კრ}$$

(5.25)

მაშასადამე, დაბალი პოტენციალებისათვის კოაგულაციის ზღურბლი ორმაგი ელექტრული შრის დიფუზიური ნაწილის პოტენციალსა და სისქეს შორის გარკვეულ თანაფარდობას – -ს შეესაბამება. თუ ეს თანაფარდობა > , სისტემა აგრეგატულად მდგრადია; თუ შეფარდება < , მაშინ ხდება კოაგულაცია. საკვლევი კოლოიდური სისტემისთვის –ს მნიშვნელობა შეიძლება შეიცვალოს დამატებული ელექტროლიტის მეშვეობით ოეშ-ის ამა თუ იმ პარამეტრის შეცვლისას.

მდგრადობისა და კოაგულაციის აღნიშნული პირობა ემპირიულად დადგენილი იქნა *ეილერისა* და *კორფის* მიერ (1940 წ.), თეორიულად დასაბუთებული კი - *დერიაგინის* მიერ.

დლფო-ს თეორიის თანახმად, ნეიტრალიზაციური კოაგულაცია უფრო მეტად დამახასიათებელია იმ სისტემებისათვის, რომელშიც ნაწილაკებს დაბალი ელექტრული პოტენციალი აქვთ. კოაგულაციაზე განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს დამატებული ელექტროლიტის იმ იონების სპეციფიკური ადსორბცია, რომლებსაც აქვს ორმაგი ელექტრული შრის საწინააღმდეგო იონების მსგავსი მუხტი. ეს იონები, შედიან რა ადსორბციულ შრეში, მკვეთრად ამცირებენ დიფუზიური შრის პოტენციალს და ახდენენ პოტენციალის ნეიტრალიზაციას. იონთა სპეციფიკური ადსორბცია ზოგჯერ ზედაპირის გადამუხტვას იწვევს.

მდენად, ნეიტრალიზაციური კოაგულაციისათვის დამახასიათებელია უბანი ელექტროლიტის მინიმალურ და მაქსიმალურ კონცენტრაციებს შორის. დამატებული ელექტროლიტის რაღაც, მაქსიმალური რაოდენობის ზევით, სისტემა შეიძლება გადავიდეს მდგრადობის მეორე უბანში, რომელშიც ნაწილაკებს ექნება იმ მუხტის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტი, რომელიც მათ ჰქონდათ მდგრადობის პირველ უბანში.

იონთა სპეციფიკური ადსორბციის უნარი იზრდება ვალენტობის გაზრდით და დამახასიათებელია მაღალვალენტიანი იონებისთვის.

კონცენტრაციული კოაგულაცია, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გამოწვეულია დიფუზიური შრის შეკუმშვით ხსნარის იონური ძალის გაზრდის გამო. ის დამახასიათებელია ინდიფერენტული ელექტროლიტებისათვის. ამ შემთხვევაშიც საწინააღმდეგო იონების რაოდენობა ადსორბციულ შრეში იზრდება, მაგრამ $\ddot{}_0$ პოტენციალის შემცირება აქ არ არის გადამწყვეტი. *სადისპერსიო გარემოს იონური ძალის უპირატესი გავლენა კოაგულაციაზე დამახასიათებელია ძლიერ დამუხტული ნაწილაკების მქონე დისპერსიული სისტემებისათვის.*

კოაგულაციის ზღურბლის დამოკიდებულება კოაგულაციის გამომწვევი იონის მუხტზე დაბალი პოტენციალის პირობებში ასე გამოისახება:

$$(\text{ჩქ} \quad \frac{CD^3(KT)^5}{A^2e^6z^6} \qquad (5.26)$$

სადაც ჩ მუდმივაა; - სადისპერსიო გარემოს დიელექტრიკული მუდმივა, - ჰამაკერის მუდმივა; ე - ელექტრონის მუხტი, ზ კი -მაკოაგულირებელი იონის მუხტი. *კოაგულაციის ზღურბლი მაკოაგულირებელი იონის ვალენტობის მეექვსე ხარისხის უკუპროპორ-*

ციულია, რაც კარგად ასახავს *შულცე-ჰარდის წესს*, რომლის თანახმად მაკოაგულირებელ მოქმედებას იჩენს საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე იონი და მაკოაგულირებელი ძალა ($V_к = \frac{1}{C_{ზქ}}$) იზრდება იონის ვალენტობის მაღალი ხარისხის პროპორციულად.

კოაგულაციის ზღურბლის მნიშვნელობები ერთ, ორ და სამვალეტიანი იონებისათვის ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც $1:\frac{1}{2^6}:\frac{1}{3^6} = 1:\frac{1}{64}:\frac{1}{729}$. *შულცე-ჰარდის* წესის მიხედვით იგივე იონებისათვის შეფარდება ასეთია $1:\frac{1}{20}:\frac{1}{500}$.

კოაგულაციის ზღურბლის რამდენადმე ნაკლები ექსპერიმენტული დამოკიდებულება იონის ვალენტობაზე z^6-თან შედარებით, როგორც ჩანს, აიხსნება იონის მუხტის მატებისას მისი სპეციფიკური ადსორბციის უნარის გაზრდით.

დლფო-ს თეორიის თანაფარდობანი მიახლოებითია, რადგან მათში არაა გათვალისწინებული ერთნაირი მუხტის მქონე საწინააღმდეგო ნიშნის იონების ბუნება. მაგალითად, ის, რომ *კოაგულაციის ზღურბლი მცირდება კათიონებისათვის ლიოტროპულ რიგში:*

$$ი^+ > ა^+ > {}^+ > ღბ^+ > ჩს^+$$

ანიონებისათვის კი:

$$ჩლ^- > რ^- > 3^- > ჟ^- .$$

რაც უფრო ლიოფობურია იონი, მით მეტ მაკოაგულირებულ უნარს იჩენს იგი კოლოიდურ სისტემებში.

ელექტროლიტების ნარევის მაკოაგულირებელი მოქმედება ხშირად არაადიტიურია; ზოგჯერ კოაგულაციის დაწყებისათვის საჭიროა ნარევის მეტი რაოდენობა, ვიდრე თითოეული მათგანის ცალ-ცალკე აღებული. ამ მოვლენას *ელექტროლიტების ანტაგონიზმი* ეწოდება. როდესაც ელექტროლიტების ნარევი უფრო ეფექტურად მოქმედებს კოაგულაციის პროცესზე, ვიდრე თითოეული მათგანი ცალ-ცალკე, მაშინ ასეთ მოვლენას *სინერგიზმი* ეწოდება.

კოაგულაციის ზემოთ ხსენებული რაოდენობრივი კანონზომიერებები ჩქარ კოაგულაციას ეკუთვნის.

5.5 მდგრადობის ადსორბციულ-სოლვატური და სტრუქტურულ-მექანიკური ფაქტორები

კოლოიდური სისტემების მდგრადობის *ადსორბციულ-სოლვატური ფაქტორი* თერმოდინამიკურ ფაქტორს მიეკუთვნება, რომლის მოქმედებისას მცირდება ზედაპირული დაჭიმულობა ნაწილაკების ზედაპირის სოლვატაციის გამო. ნაწილაკების მიახლოებისას სოლვატური შრეები ურთიერთგადაიფარებიან და იზრდება განზიდვის წნევა, რომელიც ხელს უშლის მათ შეწებებას, ე.ი. კოაგულაციას. განზიდვის მექანიზმი შეიძლება იმითაც აიხსნას, რომ ნაწილაკების შეწებებისთვის საჭიროა მათ ზედაპირზე სოლვატური შრეების დარღვევა და ზედაპირიდან სადისპერსიო გარემოს მოლეკულების ნაწილობრივი დესორბცია, რაც გარკვეული მუშაობის შესრულებას საჭიროებს.

მყარი ნივთიერებებიდან დიდი ჰიდროფილურობით ხასიათდება მრავალი ელემენტის (Si, Al, O, N) ოქსიდები, რომელთა ზოლებს კარგად განვითარებული და მტკიცე ჰიდრატული გარსი გააჩნია. ნაწილაკების

დაახლოება პირველი მინიმუმის შესაბამის მანძილზე საერთოდ შეუძლებელია, კოაგულაცია ხდება მეორე მინიმუმში ფაშარი სტრუქტურირებული აგრეგატების წარმოქნით. დისპერსიულ სისტემებს, რომელთა ნაწილაკების ზედაპირი ჰიდროფობურია, სოლვატური შრეების წარმოქმნა არ ახასიათებს. მათი *აგრეგატული მდგრადობის უზრუნველსაყოფად სისტემაში შეჰყავთ სტაბილიზატორი, რომელიც ზრდის ფაზათა შორის ურთიერთქმედებას.* ამ მიზნით გამოიყენება გრძელი ჯაჭვის მქონე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ან მაღალმოლეკულური ნაერთები, რომლებიც იწვევენ სისტემის ლიოფილიზაციას. ნაწილაკის ზედაპირი იძენს სტაბილიზატორი ნივთიერების თვისებებს. ადსორბციის შედეგად ასეთი ნივთიერების მაკრომოლეკულები დისპერსიული ფაზის ნაწილაკის ზედაპირზე ქმნის ადსორბციულ-სოლვატურ შრეებს, რომელთაც გარკვეული სისქე და სიმტკიცე აქვთ. ამის გამო ნაწილაკების დაახლოება და შეწებება შეუძლებელია მეორე (შორ) მინიმუმშიც კი. ასეთი ძლიერ ლიოფილიზირებული სისტემების მდგრადობა ახლოა ლიოფილური სისტემების მდგრადობასთან.

რებინდერის მიერ ადსორბციულ-სოლვატური შრეების თვისებების გამოკვლევებმა ცხადჰყო, რომ ეს სტრუქტურები მაღალმოლეკულური ნივთიერებების (მმნ) შემთხვევაში შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორგანზომილებიანი ლიოფობური აპკისმაგვარი ლაბები. ასეთი შრეები გადაძვრის მიმართ წინააღმდეგობას, დრეკადობას და მაღალ სიბლანტეს იჩენს. ნაწილაკების შეჯახებისას ისინი მცირე დროში ვერ ასწრებენ "გამოდინებას" და ქმნიან სტრუქტურულ-მექანიკურ ბარიერს, რომელიც ხელს უშლის ნაწილაკების შეწებებას.

ასეთ შრეებს წარმოქმნის ცილები, საპნები, ჟელატინი, ცელულოზა და სხვა მაღალმოლეკულური ნაერთები.

დისპერსიული სისტემების უმეტესობისათვის სტაბილიზაციის სტრუქტურულ-მექანიკური ფაქტორი მდგრადობის უნი -ვერსალურ ფაქტორს წარმოადგენს. *იგი კინეტიკური ხასიათისაა.*

სტრუქტურულ-მექანიკური ფაქტორის შეფასება ხდება ზედაპირული შრეების რეოლოგიური პარამეტრების - მექანიკური სიმტკიცის, დრეკადობის, სიბლანტის საფუძველზე. ლიოფობური დისპერსიული სისტემების სტაბილიზაციას მაღალმოლეკულური ნაერთებით *კოლოიდური დაცვა* ეწოდება. სხვადასხვა სტაბილიზატორის დამცავი მოქმედების უნარი შეიძლება შევადაროთ რომელიმე სტანდარტული ზოლის, მაგალითად, ოქროს ზოლის მიმართ. აქედან გამომდინარე, დამცავი მოქმედების რაოდენობრივ საზომად იყენებენ "ოქროს რიცხვის" ცნებას, რომელიც შემოღებულ იქნა *ზიგმონდის* მიერ.

"ოქროს რიცხვი" ეწოდება სტაბილიზატორის მაქსიმალურ მასას მილიგრამებში, რომელიც უნდა დაემატოს 10 მლ ოქროს წითელ ზოლს, რათა არ მოხდეს მისი კოაგულაცია (გალურჯება) აჩლ-ის 10%-იანი ხსნარის 1მლ-ის დამატებისას. *რაც მეტია "ოქროს რიცხვი", მით ნაკლებია სტაბილიზატორის დამცავი მოქმედება.* ყველაზე მცირე "ოქროს რიცხვი" (0.01) ჟელატინს აქვს. ზოგჯერ სტაბილიზატორის დამცავ უნარს ადარებენ ვერცხლის ზოლის ან რკინის ჰიდრო-ქსიდის ზოლის მიმართ. შესაბამისად იყენებენ "ვერცხლის რიცხვს" და "რკინის რიცხვს".

კოლოიდური ნაწილაკების დაცვას დიდი გამოყენება აქვს სამკურნალო პრეპარატების მომზადე-ბისას. ხშირად საჭიროა ორგანიზმში ნივთიერების

მაღალდისპერსიულ, კოლოიდურ მდგომარეობაში შეყვანა, რათა მოხდეს მთელ ორგანიზმში წამლის თანაბარი განაწილება და თანდათანობითი გახსნისა და შეწოვის გზით საჭირო სამკურნალო ზემოქმედება.

ხშირად დამცავი ნივთიერების მცირე რაოდენობით დამატება სისტემის მდგრადობის (კოაგულაციის ზღურბლი) შემცირებას იწვევს. ამ მოვლენას *სენსიბილიზაცია* ეწოდება.

V თავის ძირითადი დასკვნები

1. დისპერსიული სისტემა მდგრადია, თუ მისი ძირითადი პარამეტრები - დისპერსიულობის ხარისხი და სადისპერსიო გარემოში დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა თანაბარი განაწილება დროში უცვლელია;

2. დისპერსიული სისტემების მდგრადობა ორი სახისაა: *კინეტიკურ-სედიმენტაციური* და *აგრეგატული.*

   -- *კინეტიკური-სედიმენტაციური მდგრადობა* ეწოდება სიმძიმის ძალის მოქმედებით ნაწილაკების დალექვის მიმართ დისპერსიული ფაზის მდგრადობას, ანუ სისტემის უნარს შეინარჩუნოს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების თანაბარი განაწილება სადისპერსიო გარემოს მთელ მოცულობაში.

   -- *აგრეგატული მდგრადობა* ეწოდება დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების მდგრადობას აგრეგაციის (გამსხვილება) მიმართ, ანუ სისტემის უნარს შეინარჩუნოს ფაზის დისპერსიულობის ხარისხი;

3. ნაწილაკების გამსხვილება (აგრეგაცია) შეიძლება მოხდეს ორი გზით: *იზოთერმული გამოხდით* ან *კოაგულაციით.*

-- *იზოთერმული გამოხდა* დისპერსიული ფაზის შემცველი ნივთიერების მაღალი ქიმიური პოტენციალის მქონე წვრილი ნაწილაკებიდან შედარებით დაბალი ქიმიური პოტენციალის მქონე მსხვილ ნაწილაკებზე გადატანაა. ამის შედეგად სისტემაში მიმდინარეობს მსხვილი ნაწილაკების ზომების გაზრდის ხარჯზე წვრილი ნაწილაკების გაქრობა (გახსნა).

-- *კოაგულაცია* კოლოიდური ზომის ნაწილაკების შეწებების გზით ბევრად უფრო დიდი ზომის აგრეგატების წარმოქმნაა, რის გამოც კოლოიდური სისტემა კარგავს აგრეგატულ მდგრადობას;

4. კოაგულაცია რამდენიმე პროცესს მოიცავს და ყოველი მათგანი დისპერსიული ფაზის ხვედრითი ზედაპირისა და შესაბამისი ჭარბი თავისუფალი ენერგიის შემცი -რებით მიმდინარეობს;

5. მნიშვნელოვანია კოაგულაციისადმი მდგრადობის *სამი ძირითადი ფაქტორი*:

1) *ელექტროსტატიკური ფაქტორი*, რომელიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა გამყოფ ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნის ხარჯზე ამცირებს ზედაპირულ დაჭიმულობას;

2) *ადსორბციულ-სოლვატური ფაქტორი*, რომელიც სადისპერსიო გარემოსა და დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა ურთიერთქმედებისას მათ ირგვლივ სოლვატურ შრეებს წარმოქმნის, რაც

ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირებით მიმდინარეობს;

3) *კინეტიკური ფაქტორი*, რომელიც ძირითადად დისპერსიული სისტემების ჰიდროდინამიკურ და სტრუქტურულ-მექანიკურ თვისებებთანაა დაკავშირებული;

6. *აპკი* ეწოდება სადისპერსიო არის იმ ნაწილს, რომელიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა გამყოფ ზედაპირებს შორისაა მოთავსებული. ნაწილაკების ურთიერთ- მიახლოებისას აპკის სისქე მცირდება და კოლოიდურ ნაწილაკთა ზედაპირული შრეების ურთიერთქმედების გაძლიერების გამო აღიძვრება *გამპობი წნევა*;

7. კოლოიდური სისტემების მდგრადობისა და კოაგულაციის თეორიებიდან დღეისათვის უპირატესობა რუსი მეცნიერების - *დერიაგინისა* და *ლანდაუს* (1937-1941 წ.), უფრო მოგვიანებით ჰოლანდიელი მეცნიერების – *ფერვეისა* და *ოვერბეკის* მიერ შემუშავებულ თეორიას ენიჭება, რომელიც **დლფო**-ს სახელწოდებითაა ცნობილი;

8. **დლფო**-ს თეორიის კლასიკურ ვარიანტში კოაგულაციის პროცესი ვან-დერ-ვაალსის მიზიდვისა და ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალების ერთდროული მოქმედების შედეგია;

9. **დლფო**-ს თეორიის თანახმად, ნაწილაკთა შორის ურთიერთქმედების ჯამური ენერგია შემდეგი სახის განტოლებით გამოისახება:

$$\text{ჯამ} = \text{განზ} + \text{მიზ} = 2\pi r^2 \cdot \frac{A^*}{12\pi h^2}$$

10. *კოაგულაციის სიჩქარე* დროში ნაწილაკთა რიცხვის ცვლილებას წარმოადგენს და კოაგულაციის პროცესის რაოდენობრივი საზომია

$$V = - d / dt$$

11. ნაწილაკთა შორის ენერგეტიკული ბარიერის არსებობის გამო, *ნელი კოაგულაცია* სისტემაში დაჯახებათა არასრული ეფექტურობით შეიძლება აიხსნას. კოაგულაციის დასახასიათებლად *ნახევარკოაგულაციის პერიოდია* ( ) შმოღებული, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

0

12. კოაგულაციის სიჩქარე მკვეთრად მცირდება ენერგეტიკული ბარიერის სიმაღლის, ნაწილაკებს ირგვლივ არსებული ორმაგი ელექტრული შრის დიფუზიური ნაწილის სისქის გაზრდითა და ნაწილაკთა რადიუსის შემცირებით

6. დისპერსიული სისტემების რეოლოგიური თვისებები

როგორც უკვე ვიცით, კოლოიდური და მიკროჰეტეროგენული სისტემები თავისუფალ და ბმულ დისპერსიულ სისტემებად იყოფა. თავისუფალდისპერსიულ სისტემებში ფაზის ნაწილაკები მოძრავია და ადვილად გადაადგილდებიან სადისპერსიო არეში (ზოლები, განზავებული სუსპენზიები და ემულსიები). ბმულ დისპერსიულ სისტემებში კი შეუძლებელია დისპერსიული ფაზის

ნაწილაკთა გადაადგილება მათ შორის სტრუქტურული ბადის წარმოქმნის გამო.

კოლოიდურ სისტემებში დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის ზრდის შესაბამისად ხდება მოცულობითი სტრუქტურების წარმოქმნა და დისპერსიული ფაზის მდგომარეობის ფართე "სპექტრის" გავლით ზოლიდან გელში გადასვლა.

სტრუქტურების წარმოქმნა თავისუფალდისპერსიულ სიტემებში მათი აგრეგატული მდგრადობის დაკარგვის - კოაგულაციის შედეგია, რომელიც მიმდინარეობს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს შორის მოქმედი ვან-დერ-ვაალსის ძალების შედეგად მათი შეწებების ან შეზრდის გზით, რაც ამ სისტემებს აძლევს გარკვეულ მექანიკურ თვისებებს, როგორიცაა: სიბლანტე, პლასტიკურობა, დრეკადობა, სიმტკიცე. ამ თვისებებს *სტრუქტურულ-მექანიკური* ან *რეოლოგიური თვისებები* ეწოდება.

რეოლოგია არის სწავლება მატერიალური სისტემის დეფორმაციისა და დინების შესახებ. კოლოიდურ ქიმიაში რეოლოგიურ მეთოდს დისპერსიული სისტემების სტრუქტურის გამოკვლევისა და ბლანტი დინების აღსაწერად იყენებენ. რეოლოგიური თვისებების შესწავლით შეიძლება განისაზღვროს მათში წარმოქმნილი სტრუქტურების ხასიათი. ამ თვისებების ცოდნა აუცილებელია პრაქტიკული თვალსაზრისითაც, რადგან ისეთი მნიშვნელოვანი სისტემები, როგორიცაა: ნიადაგი, ცემენტის ხსნარი, საღებარები, ლაქები, პასტები, ლაბები ხასიათდება მთელი რიგი განსაკუთრებული სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებებით.

პეტრე რებინდერი (1898-1972)

რებინდერისა და მისი მოსწავლეების შრომებით თეორიული საფუძველი დაედო სწავლებას სტრუქტურირებული სისტემების წარმოქმნის შესახებ, ანუ კოლოიდური ქიმიის დამოუკიდებელ ნაწილს – ფიზიკა-ქიმიურ მექანიკას. რომელიც სწავლობს ზემოთ აღნიშნული მასალების მექანიკურ თვისებებს: სიმტკიცეს, დრეკადობას, ელასტიურობას, პლასტიკურობას.

დისპერსიული სისტემების რეოლოგიის ძირითადი საფუძვლების გაცნობისას აუცილებელია მექანიკის ელემენტების გახსენება. დეფორმაციის ორი ძირითადი სახე არსებობს: გაჭიმვა და გადაძვრა, რომლებიც ნორმალურ და ტანგენციალურ ძაბვას შეესაბამება. ნორმალური ძაბვა იგივე წნევაა - .

დისპერსიულ სისტემებში დეფორმაციის ყველა სახე გადაძვრის ძაბვის (მოქმედებით აისახება. დეფორმაციის სიჩქარე ამ დროს იგივეა რაც გადაძვრის სიჩქარე.

დეფორმაცია შეიძლება იყოს შექცევადი და ნარჩენი. შესაბამისად, სხეულები არის დრეკადი ან პლასტიკური. დრეკადი სხეულების დეფორმაცია აღიწერება *ჰუკის კანონით*:

= (6.1)

სადაც გადაძვრის ძაბვაა; - გადაძვრის მოდული, რომელიც სხეულის სიმაგრეს ახასიათებს; კი - დეფორმაცია.

დეფორმაციის შექცევადობა იმაში გამოიხატება, რომ დატვირთვის მოხსნისას სხეულის ყველა გეომეტრიული პარამეტრი აღიდგენს საწყის მნიშვნელობას. როცა დრ (დრ დრეკადობის ზღვარი), ხდება მატერიალური სხეულის დაშლა (მყიფე სხეულები) ან აღიძვრება ნარჩენი დეფორმაცია

და, როცა მახ, მაშინ იწყება სხეულის დინება მუდმივი სიჩქარით, რომელიც დენადობის ზღვარს (სიმტკიცეს) შეესაბამება. პლასტიკური სხეულებისაგან განსხვავებით, ბლანტი სხეულები ნებისმიერი ძაბვის დროს დენადია, მაშინაც კი, როცა .

6.1. ჭეშმარიტი ხსნარებისა და ზოლების სიბლანტე

იდეალურად ბლანტი სხეულების (სითხეების) დინება ემორჩილება *ნიუტონის კანონს*, რომლის თანახმად:

$$= Ш\frac{dU}{dx} \qquad (6.2)$$

სადაც პროპორციულობის კოეფიციენტია; - შიგა ხახუნის ძალა, რომელიც გარედან მოდებული ძალის ტოლია და საწინააღმდეგოდაა მიმართული; Ш - სითხის ფენის ფართობი, რომელზეც მოდებულია ძალა; *დ* /*დხ* კი - სითხის დინების სიჩქარის გრადიენტი.

გადაძვრის ძაბვის, ანუ შრის ფართობის ერთეულზე მოქმედი ძალის შემთხვევაში:

$$\frac{F}{S} = \quad = \frac{dU}{dx} \qquad (6.3)$$

როდესაც *დ* /*დხ* , მაშინ =

არის გადაძვრის ძაბვა, როდესაც სიჩქარის გრადიენტი ერთეულის ტოლია. მას *შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი* ან, სხვანაირად, *სიბლანტე* ეწოდება. მისი შებრუნებული სიდიდე -(1/ *სითხის დენადობა* გარე ზემოქმედების შემთხვევაში სითხის ძვრადობას ახასიათებს.

კაპილარულ მილში სითხის დინებას აღწერს *პუაზეილის განტოლება* :

$$V = \quad \text{რ}\,\text{პ}/(8 \quad \text{ლ}) \qquad (6.4)$$

სადაც V კაპილარში სითხის გადინების მოცულობითი სიჩქარეა, r და l მილის რადიუსი და სიგრძე, η - კაპილარული მილის ბოლოებს შორის წნევათა სხვაობა, კი სითხის სიბლანტე.

ნიუტონისა და პუაზეილის განტოლებები მართებულია სითხის ლამინარული დინებისათვის, ასეთი რეჟიმი კი შესაძლებელია სითხის შედარებით ნელი დინებისას, როცა მისი ფენები ურთიერთპარალელურად მოძრაობს. მაღალი სიჩქარეების დროს ლამინარული დინება ტურბულენტურში (სითხის ფენების ურთიერთ არეული გადაადგილება) გადადის. ამ შემთხვევაში პუაზეილისა და ნიუტონის განტოლებების გამოყენებისას სიბლანტის კოეფიციენტი (აზრს კარგავს, რადგან მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია არა მხოლოდ სითხის ბუნებაზე, არამედ მისი მოძრაობის სიჩქარეზე. თუმცა ამ შემთხვევაშიც შეიძლება ვილაპარაკოთ მხოლოდ ეფექტურ, ანუ მოჩვენებით სიბლანტეზე, რომლის სიდიდეში გათვალისწინებულია სითხის ბუნება და მისი გადინების სიჩქარე.

რეინოლდსმა 1883 წ. დაადგინა, რომ გლუვკედლიან მილში სითხის ლამინარული დინება გადადის ტურბულენტურში, როდესაც *რეინოლდსის რიცხვი* ღ= r / გარკვეულ მნიშვნელობას გადააჭარბებს. რეინოლდსის რიცხვი უგანზომილებო სიდიდეა და, როგორც ფორმულიდან ჩანს, ლამინარული დინება ტურბულენტურში გადადის მით უფრო დაბალი სიჩქარის დროს, რაც უფრო დიდია მილის რადიუსი (r), სითხის სიმკვრივე ( ) და ნაკლებია სიბლანტე (.

სითხეების სიბლანტე შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვა მეთოდით, რომელთაგან უფრო მნიშვნელოვანია სითხეში ბურთულის ვარდნისა და კაპილარიდან სითხის გამოდინების მეთოდები.

ბურთულის ვარდნის მეთოდი სითხეში ცნობილი მოცულობისა და მასის მქონე ბურთულის თავისუფალი ვარდნის სიჩქარის განსაზღვრას ემყარება. ტურბულენტური დინების შეზღუდვის მიზნით ბურთულის მოძრაობის სიჩქარე მცირე უნდა იყოს, ხოლო ჭურჭელი, რომელშიც ბურთულა მოძრაობს, საკმაოდ ფართე. სიბლანტის გამოთვლა ხდება ფორმულით, რომელიც სედიმენტაციის სიჩქარის განტოლები-დან (4.11)გამომდინარეიბს:

$$^{2} \quad რ)გ/9 \qquad (6.5)$$

კაპილარიდან სითხის ჩამოდინების მეთოდი კი ცნობილი სიგრძისა (ლ) და რადიუსის (რ) მქონე კაპილარული მილიდან გარკვეული მოცულობის სითხის ჩამოდინების დროის განსაზღვრას ემყარება. ამ შემთხვევაში სიბლანტე გამოითვლება პუაზეილის განტოლებით:

$$= \quad ჩ პ \quad 8 \text{ V } ლ \qquad (6.6)$$

სადაც V დროში ჩამოდინებული სითხის მოცულობაა.

სიბლანტის განსაზღვრის მიზნით ფართოდ გამოიყენება ვისკოზიმეტრები (ოსტვალდის, გეპლერის, როტაციული და ა.შ.).

როტაციული ვისკოზიმეტრი შექმნილია *შვედოვის* მიერ და წარმოადგენს ორ კოაქსიალურ ცილინდრს, რომელთაგან გარეთა ცილინდრი ელექტრომოტორის მეშვეობით მუდმივი სიჩქარით ბრუნავს, შიგა ცილინდრი კი წვრილ, დრეკად ძაფზეა ჩამოკიდებული და გრეხვის კუთხის ასათვლელი მექანიზმითაა აღჭურვილი. საკვლევი სითხე ცილინდრებს შორის სივრცეში ისხმება. ბრუნვისას გარეთა ცილინდრი თან წარიტაცებს სითხეს, რომელსაც თავის მხრივ ბრუნვით მოძრაობაში მოჰყავს შიგა ცილინდრი და გრეხს მის ძაფს გარკვეული კუთხით მანამ, სანამ გრეხვის ძალის მომენტი არ გაუტოლდება ხახუნის ძალის მომენტს. რადგანაც ძაფი, რომელზეც

შიგა ცილინდრი ჰკიდია დრეკადია, მისი გრეხვის კუთხე ყოველთვის საკვლევი სითხის სიბლანტის პროპორციულია. ხელსაწყოს მუდმივების ცნობილი მნიშვნელობებისათვის -ს ანგარიშობენ ფორმულით, რომელიც გრეხვის კუთხეს სიბლანტესთან აკავშირებს.

სიბლანტის განსაზღვრის მეთოდები უფრო სრულყოფილადაა მოცემული კოლოიდური ქიმიის ყველა ლაბორატორიულ სახელმძღვანელოში.

ზოლების დინება განსხვავდება დაბალმოლეკულური ნივთიერებების ჭეშმარიტი ხსნარების დინებისაგან. ამის მიზეზი ისაა, რომ ზოლებში შეწონილ მდგომარეობაშია კოლოიდური ნაწილაკები, რომელთა ზომები სადისპერსიო გარემოს მოლეკულებთან შედარებით მნიშვნელოვნად დიდია. მათი არსებობა სითხეში ავიწროებს იმ სივრცეს, რომელიც უჭირავს სადისპერსიო გარემოს გამდინარე ნაკადში მოძრაობისას. აქედან გამომდინარე, დინების მართობული მიმართულებით სიჩქარის საშუალო გრადიენტი იზრდება, რის გამოც ზოლის სიბლანტე ყოველთვის რამდენადმე მეტია სადისპერსიო გარემოს სიბლანტეზე.

ზოლები ხასიათდება ბევრად უფრო ბლანტი დინებით, მაგრამ თვისებრივად იმავე კანონებს ემორჩილება, რომლებსაც სუფთა სადისპერსიო გარემო. ამიტომ ნიუტონისა და პუაზეილის კანონები მრავალი კოლოიდური სისტემისთვისაა მართებული.

ზოლის სიბლანტე დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება. ეს კავშირი განზავებული ზოლისათვის გამოისახება *აინშტაინის განტოლებით:*

($_0$) $_0$ =

სადაც და $_0$ კოლოიდური ხსნარისა და სადისპერსიო გარემოს სიბლანტეა; $_д$ VV დისპერსიული ფაზის

მოცულობითი წილი; კი- მუდმივა, რომელიც დისპერსიული ნაწილაკის ფორმაზეა დამოკიდებული. სფერული ნაწილაკებისათვის 2.5, მაშინ:

$$_0(1+2,5 \quad)$$

(6.8)

ცდის მონაცემებით ზოგიერთი კოლოიდური სისტემისათვის –ს დამოკიდებულება –ზე წრფივია (ნახ. 6.1-I). ასეთ სითხეებს *ჩვეულებრივი* ანუ *ნიუტონური სითხეები* ეწოდება.

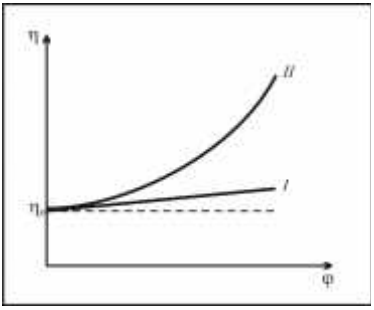
აინშტაინის განტოლება მართებულია კოლოიდური სისტემებისათვის, რომელთა დინება ლამინარულია, ნაწილაკებსა და სითხეს შორის ადგილი არ აქვს სრიალს და ნაწილაკების ზომა სადისპერსიო გარემოს მოლეკულების თავისუფალ განარბენთან შედარებით დიდია, მაგრამ მცირეა იმ სივრცესთან შედარებით, რომელშიც სითხე მიედინება. აღნიშნული პირობის დაცვის შემთხვევაში, ექსპერიმენტული შემოწმებით (გოგირდის ზოლის, მინის უწვრილესი ნაწილაკების სუსპენზიის, სოკოს სფერული სპორებისათვის) მრავალგზის დადასტურდა, რომ 2,5. კონცენტრირებულ ზოლებში კი ადგილი აქვს აინშტაინის კანონიდან გადახრას.

6.2. სტრუქტურირებული სისტემები და პლასტიკური სიბლანტე

სტრუქტურირებული სისტემები არ ემორჩილებიან *ნიუტონისა* და *პუაზეილის კანონებს.* ეს იმითაა გამოწვეული, რომ სითხეში არსებობს ნაკლებად მტკიცე, მაგრამ ერთიანი სივრცითი სტრუქტურული ბადე, რომელიც სისტემაზე გარკვეული სიდიდის ზემოქმედებით შეიძლება დაიშალოს.

სისტემაში სტრუქტურების არსებობა დინების მრუდების ხასიათს ცვლის. მდენად, მოდებულ ძაბვაზე

დინების სიჩქარის დამოკიდებულების გამოკვლევა, უმრავლეს შემთხვევაში, სისტემაში სტრუქტურების წარმოქმნაზე



ნახ. 6.1. სიბლანტის დამოკიდებულება დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციაზე:

I – არასტრუქტურირებული ზოლებისათვის.;

II - სტრუქტურირებული ზოლებისათვის.

მსჯელობის საფუძველს იძლევა.

ჯერ *შვედოვისა* და შემდეგ *ბინგამის* მიერ გამოთქმული მოსაზრებით, სტრუქტურირებული სისტემების დინება იწყება მხოლოდ მაშინ, როდესაც გადაძვრის ძაბვა ( ) გადააჭარბებს რაღაც გარკვეულ მნიშვნელობას ( ), რომელიც აუცილებელია სტრუქტურის რღვევისათვის, ანუ, როდესაც დაცულია პირობა:

ასეთ დინებას ბინგამის *პლასტიკური უწოდა*, ხოლო კრიტიკულ ძაბვას ( )– *დენადობის ზღვარი.*

პლასტიკური დინებისათვის ნიუტონის განტოლება იცვლება *შვედოვ-ბინგამის განტოლებით.*

პლ დ /დხ

ან

პლდ /დხ+ (6.9)

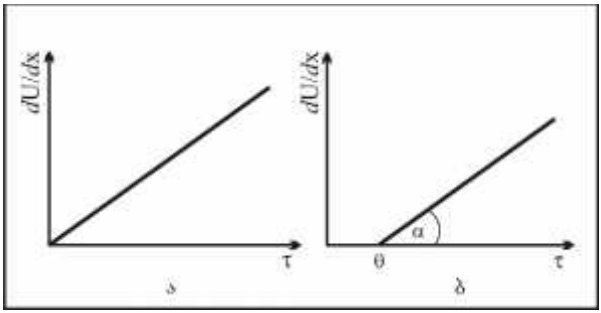
სადაც პლ სტრუქტურირებილი სისტემის პლასტიკური სიბლანტეა.

თუ სისტემაში სივრცითი სტრუქტურა არ არის ( ), შვედოვ-ბინგამის განტოლება გარდაიქმნება ნიუტონის განტო-

ლებად, პლასტიკური სიბლანტე კი - სითხის ჭეშმარიტ სიბლანტედ. როგორც კი გადააჭარბებს -ს, დაიწყება დინება და სიბლანტე მაშინვე მიიღებს მუდმივ მნიშვნელობას. ასეთ პირობებში სიჩქარის გრადიენტის *დ /დხ* დამოკიდებულება გადაძვრის ძაბვაზე გამოისახება წრფით (ნახ. 6.2). ნახ. 6.2-ბ-ს თანახმად

$$\frac{\tau - \theta}{dU/dx} \quad \text{ცზგ}$$

(6.10)



ნახ. 6.2. სიჩქარის გრადიენტის დამოკიდებულება გადაძვრის ძაბვაზე ა)ნორმალური და ბ)პლასტიური დინებისათვის

ბინგამის განტოლებას საკმაოდ კარგად ემორჩილება თიხის პასტები, კონსისტენციური საცხები, მინანქრისა და ჭიქურების კონცენტრირებული შლიკერები. თუმცა სტრუქტურირებული კოლოიდური სისტემების უმრავლესობისათვის ეს დამოკიდებულება გამოისახება მრუდით და არა წრფით (ნახ 6.3-ა) ასეთი დამოკიდებულება იმით აიხსნება, რომ დენადობის ზღვრის მიღწევის შემდეგ სტრუქტურა ირღვევა არა მყისიერად, არამედ ნელ-ნელა სითხის მოძრაობის სიჩქარის გრადიენტის ზრდის შესაბამისად, რაც

სიბლანტის თანდათანობით ცვლილებას იწვევს. ნახაზის მიხედვით შეიძლება განვასხვაოთ გადაძვრის ძაბვის ორი ძირითადი სიდიდე: – გადაძვრის მინიმალური ძაბვა, რომელიც მაქსიმალური სიბლანტის მქონე სტრუქტურირებული სისტემის დინების დასაწყისს შეესაბამება და მაქს, რომელიც დენადობის მაქსიმალურ ზღვარს შეესაბამება. ამ შემთხვევაში სითხის გადინება ტურბულენტური რეჟიმით მიმდინარეობს, რაც სტრუქტურის მთლიან დაშლას იწვევს. შედეგად კოლოიდური სისტემა ისე გაედინება, როგორც არასტრუქტურირებული (ნიუტონის) სითხე - მინიმალური სიბლანტით. დენადობის ორივე ზღვარი სისტემაში არსებული ყველა სტრუქტურულ-მექანიკური თვისების მახასიათებელს წარმოადგენს.

ნახ. 6.3. კოლოიდური სისტემების დინების მრუდი (ა) და დინების ეფექტური სიბლანტის დამოკიდებულება გადაძვრის ძაბვაზე (ბ)

უკანასკნელ ხანებში სტრუქტურირებული კოლოიდური სისტემების თავისებურებანი დეტალურად იქნა შესწავლილი რებინდერისა და მისი სკოლის მიერ. ამ შრომების თანახმად, სითხის ნებისმიერი სიჩქარით მოძრაობისას კოაგულაციურ სტრუქტურებში მიმდინარეობს ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო პროცესი: სტრუქტურის

რღვევა და აღგდენა. ამ პროცესებს შორის წონასწორული მდგომარეობა ხასიათდება ეფექტური სიბლანტით - , რომელიც გადაძვრის ძაბვის ზრდის შესაბამისად მცირდება. მცირე ძაბვის დროს ეფექტურ სიბლანტეს მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს ($_0$), რომელიც პრაქტიკულად დაუშლელი სტრუქტურის მქონე სითხის სიბლანტის ტოლია. გადაძვრის ძაბვის დიდი მნიშვნელობისას კი მცირდება ზღვრულ მნიშვენლობამდე - $_{\text{მინ}}$, რომელიც მთლიანად დაშლილი სტრუქტურის მქონე სითხეს შეესაბამება.

∂ /∂ მრუდები და სიბლანტის დამოკიდებულება გადაძვრის ძაბვაზე, რებინდერის მიხედვით მოცემულია ნახ. 6.3.-ზე

სტრუქტურირებული კოლოიდური სისტემების სიბლანტე ძლიერაა დამოკიდებული მისი განსაზღვრის პირობებზე, კერძოდ, გადაძვრის სიჩქარის გრადიენტზე. ამიტომ ამ *სისტემების სიბლანტეთა შედარება მხოლოდ მაშინ შეიძლება, როდესაც ისინი რეინოლდსის რიცხვის ერთნაირი მნიშვნელობისათვისაა განსაზღვრული.*

6.3. დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაცია სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებების მიხედვით

სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებების მრავალსახეობა გამოხატულობას პოულობს ბუნებრივ და სინთეზურ მასალებში, რომელთა უმეტესობა დისპერსიულ სისტემას წარმოადგენს. ასეთ სისტემებში მიმდინარე პროცესების მართვა საჭირო თვისებების მქონე მასალების მიღების შეუზღუდავ შესაძლებლობას იძლევა.

დისპერსიულ სისტემებში წარმოქმნილი სტრუქტურები თვისებების მიხედვით რებინდერმა ორ ძირითად ტიპად დაჰყო: *კონდენსაციურ-კრისტალიზაციური* და

კოაგულაციური (*კოაგულაციურ-ტიქსოტროპიული*) იქიდან გამომდინარე, რომ კოაგულაცია პოტენციალური მრუდის I და II მინიმუმს შეესაბამება.

კონდენსაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურების წარმოქმნა შეესაბამება პირველ პოტენციალურ მინიმუმს, სადაც ნაწილაკებს შორის უშუალო ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად ხისტი მოცულობითი სტრუქტურები წარმოიქმნება. თუ ნაწილაკები კონისისტენცია ამორფული და ფაშარია, მაშინ დისპერსიულ სისტემებში წარმოქმნილ სტრუქტურებს *კონდენსაციური* ეწოდება, ხოლო კრისტალური ნაწილაკებისაგან მათი უშუალო შეზრდით წარმოიქმნება *კრისტალიზაციური* სტრუქტურები. სტრუქტურის მექანიკური თვისებები თვით ამ ნაწილაკების თვისებებიდან გამომდინარეობს. კონდენსაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურები მყარი დისპერსიული ფაზის მქონე დისპერსიული სისტემებისათვისაა დამახასიათებელი, რომლებსაც ასეთი სტრუქტურები სიმტკიცესა და სიმყიფეს აძლევს. ეს სტრუქტურები მექანიკური დაშლის შემდეგ თავისით ვეღარ უბრუნდება საწყის მდგომარეობას.

კოაგულაციური სტრუქტურები წარმოიქმნება კოაგულაციის დროს, რომელიც ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების პოტენციალური მრუდის მეორე - შორ მინიმუმს შეესაბამება. ნაწილაკების ურთიერთქმედება ვან-დერ-ვაალსის ძალების გავლენით ხდება მათ შორის სადისპერსიო გარემოს თხელი შრის თანაობისას. ამიტომ სივრცითი სტრუქტურული ბადე არ შეიძლება იყოს ძალიან მტკიცე. *ამ სტრუქტურების მექანიკური თვისებები განისაზღვრება არა იმდენად სტრუქტურის წარმომქმნელი ნაწილაკების თვისებებით, რამდენადაც ნაწილაკებს შორის კავშირებისა და სითხის შრის თავისებურებით.*

თხევადი სადისპერსიო გარემოს მქონე კოაგულაციური სტრუქტურების სპეციფიკურ თვისებად *ტიქსოტროპია*

ითვლება. ბერძნულიდან თარგმნით “ტიქსო” – შეხება, “ტროპე”- ცვლილება, ანუ გარკვეული მექანიკური ზემოქმედებით სტრუქტურის რღვევის შემდეგ მისი კვლავ აღდგენის უნარი. სხვაგვარად, გელის ზოლში იზოთერმული შექცევადი გარდაქმნის უნარი. ტიქსოტროპიის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მექანიკური ზემოქმედებით ნაწილაკებს შორის დარღვეული კავშირები კვლავ აღდგება ბროუნის მოძრაობისას მათი ეფექტური დაჯახებების დროს.

ტიქსოტროპიის მოვლენები ხშირად გვხვდება ბუნებაში. ამ უნარს ამჟღავნებს ზოგიერთი გრუნტი (მეწყერი, მცურავი ქანი). იგი დამახასიათებელია პროტოპლაზმისათვის ცოცხალი ორგანიზმების უჯრედებში. ტიქსოტროპიისადმი უნარს ხშირად იყენებენ ტექნიკაში. მაგალითად, ნავთობის ჭაბურღილების ბურღვისას ხსნადი თიხის ხსნარებს ტუმბავენ ჭაბურღილებში და ჩარეცხავენ მას მთის ქანის წვრილი ნაწილაკების მოსაცილებლად. ამ ხსნარების ტიქსოტროპიული თვისების წყალობით თავიდან იცილებენ ჭაბურღილში ნაწილაკების დალექვას და ამის გამო საბურღი ინსტრუმენტის ჩაჭედვას ბურღვის დროებით შეჩერებისას. ტიქსოტროპიული სისტემების მაგალითია ჩვეულებრივი ზეთიანი საღებარები. მექანიკური შენჯღრევის შემდეგ შესაძლებელია მათი დატანა ვერტიკალურ ზედაპირზე სითხის სახით. ტიქსოტროპიული თვისების გამო ხდება სტრუქტურის სწრაფი აღდგენა, რის გამოც საღებარი ზედაპირიდან არ ჩამოიღვენთება.

კოაგულაციური სტრუქტურების მქონე სისტემებს ახასიათებს *ცოცვადობა*, ანუ დინებისას სივრცითი სტრუქტურული ბადის პრაქტიკულად შეუმჩნეველი დარღვევის გარეშე მნიშვნელოვანი ნარჩენი დეფორმაციის ნელი განვითარების უნარი. კოლოიდური *სისტემის ცოცვა დასაფარ ზედაპირზე განპირობებულია მაღალი სიბლანტითა (სტრუქტურული ბადის უმნიშვნელო დაშლის გამო)* და

დინების საკმაოდ მცირე სიჩქარით. დიდი სიჩქარით დინების დორს ამ სისტემებში ხდება სტრუქტურის მნიშვნელოვნად დაშლა, რადგან ნაწილაკებს შორის კავშირები ვეღარ ასწრებს აღდგენას. ამ დროს სტრუქტურის დაშლის სიჩქარე მისი აღდგენის სიჩქარეს აჭარბებს, რაც იწვევს სიბლანტის შემცირებას და ხდება დასაფარი ზედაპირიდან საღებრის არა ცოცვა, არამედ მისი სრულად ჩამოღვრა.

რეალური სხეულები სხვადასხვა სახის სტრუქტურით ხასიათდება. როგორც წესი, კონდესაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურების მქონე მასალები და მათგან მიღებული ნაკეთობები მყარ სხეულებს წარმოადგენს. (ლითონები, ნადნობები, კერამიკა, მინანქრის საფარები, ბეტონი და სხვა), ნედლეული და შუალედური პროდუქტები კი უმეტესწილად კოაგულაციური სტუქტურების მქონე თხევადი ან მყარისმაგვარი სისტემებია. მათგან მასალებისა და ნაკეთობების დამზადების პროცესში ხდება კოაგულაციური სტრუქტურებიდან კონდენსაციურ-კრისტალიზაციურში გადასვლა. *კოლოიდურ სტრუქტურათა ასეთი კლასიფიკაცია სხეულების მექანიკური თვისებების მათ აღნაგობასთან დაკავშირების საშუალებას იძლევა.*

არსებობს სხეულების კლასიფიკაცია რეოლოგიური თვისებების მიხედვით, რომლის თანახმადაც ყველა რეალური სისტემა შეიძლება დავყოთ სითხისმაგვარ (0) და მყარისმაგვარ (0) სისტემებად. თავის მხრივ სითხისმაგვარი სისტემები იყოფა *ნიუტონურ* და *არანიუტონურ* სითხეებად. *ნიუტონური ეწოდება ისეთ სითხეებს, რომელთა სიბლანტე გადაძვრის ძაბვაზე არ არის დამოკიდებული და მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს (ნიუტონის კანონი). არანიუტონური სითხეები არ ემორჩილება ნიტონის კანონს, მათი სიბლანტე დამოკიდებულია გადაძვრის ძაბვაზე.* ეს სითხეები იყოფა *სტაციონარულ* და *არასტაციონარულ* სითხეებად. სტაციონარული სითხეების რეოლოგიური თვისებები დროში

არ იცვლება, არასტაციონარულისთვის კი ეს თვისებები დამოკიდებულია დროზე.

სითხისმაგვარი და მყარისმაგვარი სხეულები ერთმანეთისაგან არა მარტო დენადობის ზღვრის არსებობით და არარსებობით განსხვავდება, არამედ დეფორმაციისადმი განსხვავებული ქცევით. *სტრუქტურირებული სითხეებისათვის დამახასიათებელია დატვირთვის ზრდით ნიუტონურ დინებაში გადასვლა, რაც მათი სტრუქტურის მთლიან დაშლას შეესაბამება. მყარისმაგვარი სხეულების დატვირთვის გაზრდით კი ხდება მათი მექანიკური მთლიანობის დარღვევა და შეუქცევადი დაშლა.*

კოაგულაციური სტრუქტურების შემცველი სისტემები, როგორც წესი, მცირე სიმტკიცით, პლასტიკურობითა და გარკვეული ელასტიურობით ხასიათდება. ასეთი სისტემებისათვის ხშირად დამახასიათებელია *სინერეზისის* მოვლენა. *სინერეზისი გელისაგან სადისპერსიო გარემოს თავისთავადი გამოყოფაა, რომელიც მისი მოცულობის (ზომის) შემცირებით მიმდინარეობს.* სინერეზისის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ გელის მიღებისას სტრუქტურის ელემენტებს შორის კავშირების შედარებით მცირე რაოდენობა წარმოიქმნება. შემდეგ, თბური მოძრაობის გამო ნაწილაკების გადაჯგუფების შედეგად კონტაქტების რიცხვი იზრდება, რაც გელის შეკუმშვასა და მისგან სადისპერსიო გარემოს გამოდევნას იწვევს. ზოგჯერ შესაძლებელია კრისტალიზაციური ხიდების წარმოიქმნა, რომლებიც აერთებენ ნაწილაკებს. ზღვრულ პირობებში ნაწილაკთა ასეთმა შეზრდის პროცესმა შეიძლება მონოლითური მთლიანი სხეულის წარმოქმნამდე მიგვიყვანოს. მაგალითად, გეოლოგიური ეპოქების განმავლობაში ბუნებაში მიმდინარეობდა შემდეგი პროცესები:

$$SiO_2(\text{ზოლი}) \rightarrow \text{სილიკაგელი} \rightarrow \text{ოპალი} \rightarrow \text{ქალცედონი} \rightarrow \text{კვარცი}$$

სინერეზისზე დადებითად მოქმედებს ყველა ის ფაქტორი, რომელიც ხელს უწყობს კოაგულაციას, სახელდობრ - ელექტროლიტის კონცენტრაციის გაზრდა, ტემპერატურეს აწევა, სისტემაში დესოლვატაციის გამომწვევი ნივთიერების შეტანა. სინერეზისს ხელს უწყობს კოაგულაციური სტრუქტურების ელემენტების ძვრადობა, მოქნილობა და ა.შ.

კოაგულაციური სტრუქტურების მქონე სისტემებისათვის დამახასიათებელია ის ფაქტი, რომ სადისპერსიო გარემოს გამოშრობით მიღებულ მშრალ გელს კვლავ შეუძლია ამა თუ იმ ხარისხით სითხის შთანთქმა. *მშრალი გელით (ქსეროგელი) სითხის შთანთქმა განპირობებულია როგორც მარტივი კაპილარული შეწოვით, ისე გელის სტრუქტურის ელემენტებს შორის გამპობი წნევის აღძრის გამო მათი სტრუქტურული ერთეულების ურთიერთდაშორებითა და გამოთავისუფლებული ადგილების სადისპერსიო გარემოთი შევსებით.* ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ქსეროგელის გაჯირჯვებას. სრულიად ნათელია, რომ *გაჯირჯვება სინერეზისის შებრუნებული პროცესია.* თუმცა, იმის გამო, რომ ლიოფობურ სისტემებში სტრუქტურების წარმოქმნის შემდეგ ნაწილაკთა შორის კონტაქტის ადგილები საკმაოდ მტკიცეა, ისინი უმნიშვნელოდ ჯირჯვდება. მაღალმოლეკულური ნივთიერებებში კი ეს თვისება, პირიქით, ძლიერაა გამოხატული.

VI თავის ძირითადი დასკვნები

1. კოლოიდური და მიკროჰეტეროგენული სისტემები *თავისუფალ* და *ბმულ დისპერსიულ სისტემებად* იყოფა.

   - თავისუფალდისპერსიულ სისტემებში ფაზის ნაწილაკები ადვილად გადაადგილდებიან

სადისპერსიო არეში (ზოლები, განზავებული სუსპენზიები და ემულსიები).

- ბმულ დისპერსიულ სისტემებში კი ნაწილაკთა შორის სტრუქტურული ბადის წარმოქმნის გამო შეუძლებელია მათი თავისუფალი გადაადგილება.

კოლოიდურ სისტემებში კონცენტრაციის ზრდის შესაბამისად ხდება მოცულობითი სტრუქტურების წარმოქმნა და დისპერსიული ფაზის მდგომარეობა ზოლების გავლით გელებამდე მიდის. ეს სისტემებს გარკვეულ მექანიკურ თვისებებს აძლევს, როგორიცაა სიბლანტე, პლასტიკურობა, დრეკადობა, სიმტკიცე. ამ თვისებებს *სტრუქტურულ-მექანიკური* ან *რეოლოგიური თვისებები* ეწოდება;

2. იდეალურად ბლანტი სხეულების (სითხეების) დინება *ნიუტონის კანონს* ემორჩილება, რომლის თანახმად

$$= \frac{dU}{dx}$$

3. ზოლის სიბლანტე დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება. ეს კავშირი განზავებული ზოლისათვის *აინშტაინის განტოლებით* გამოისახება

0 0

4. სტრუქტურირებული სითხეების დინება საკმაოდ კარგად აღიწერება *ბინგამის* განტოლებით

$$\frac{\tau - \theta}{dU/dx} \quad \text{ცბგ}$$

5. დისპერსიული სისტემები სტრუქტურული თვისებების მიხედვით რებინდერმა ორ ძირითად ტიპად დაჰყო: *კონდენსაციურ-კრისტალიზაციური* და *კოაგულაციური* (*კოაგულაციურ-ტიქსოტროპიული*), იქიდან გამომდინარე რომ კოაგულაცია პოტენციალური მრუდის I და II მინიმუმს შეესაბამება;

6. თხევადი სადისპერსიო გარემოს მქონე კოაგულაციური სტრუქტურების სპეციფიკურ თვისებად *ტიქსოტროპია* ითვლება, ანუ გარკვეული მექანიკური ზემოქმედების გამო სტრუქტურის რღვევის შემდეგ მისი კვლავ აღდგენის უნარი. სხვაგვარად, გელის ზოლში იზოთერმულად შექცევადი გარდაქმნის უნარი. ტიქსოტროპიის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ბროუნის მოძრაობისას მექანიკური ზემოქმედებით დარღვეული ნაწილაკებს შორის მომქმედი კავშირები კვლავ აღდგება მათი შემდგომი ეფექტური დაჯახებებისას;

7. კოლოიდურ სტრუქტურათა ასეთი კლასიფიკაცია სხეულების მექანიკური თვისებების მათ აღნაგობასთან დაკავშირების საშუალებას იძლევა;

8. *სინერეზისი* გელისაგან სადისპერსიო გარემოს თავისთავადი გამოყოფაა, რომელიც მისი მოცულობის (ზომის) შემცირებით მიმდინარეობს. მშრალი გელით *(ქსეროგელით)* სითხის შთანთქმა განპირობებულია როგორც მარტივი კაპილარული შეწოვით, ისე გელის სტრუქტურის ელემენტებს შორის გამპობი წნევის აღძვრის გამო მათი სტრუქტურული ერთეულების ურთიერთ დაშორებითა და გამოთავისუფლებული ადგილის სადისპერსიო გარემოთი შევსებით. ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ქსეროგელის *გაჯირჯვებას*. სრულიად ნათელია, რომ *გაჯირჯვება სინერეზისის*

შებრუნებულია პროცესია, თუმცა იმის გამო, რომ ლიოფობურ სისტემებში სტრუქტურების წარმოქმნისას ნაწილაკთა შორის წარმოქმნილი კონტაქტის ადგილები საკმაოდ მტკიცეა, ისინი უმნიშვნელოდ ჯირჯვდება, მაღალმოლეკულური ნივთიერებებში კი ეს თვისება პირიქით ,ძლიერაა გამოხატული.

7. დისპერსიული სისტემების ძირითადი სახესხვაობანი

დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაციიდან გამომდინარე, საქმე გვაქვს მათ მრავალსახეობასთან, რომელთა ძირითად ფიზიკო-ქიმიურ თვისებებს მოცემულ თავში შევისწავლით.

7.1. ქაფები

ქაფი თავისუფალდისპერსიული სისტემაა, რომელიც შედგება აირადი დისპერსიული ფაზისა და თხევადი სადისპერსიო გარემოსაგან. ქაფი წარმოადგენს შედარებით უხეშ, მაღალკონცენტრირებული აირის (ჩვეულებრივ ჰაერის) დისპერსიას სითხეში, სადაც ჰაერის ბუშტულების ზომა რამდენიმე მილიმეტრის, ზოგჯერ სანტიმეტრის რიგისაა. აირადი ფაზის სიჭარბის წყალობითა და ბუშტების ურთიერთდაწოლის გამო ქაფში მათ აქვთ პოლიედრული უჯრედის ფორმა, რომლის კედლები წარმოადგენს სადისპერსიო გარემოს ძალიან თხელ აპკს. ქაფის აპკების ზედაპირი ხშირად ინტერფერენციულ თვისებებს ამჟღავნებს, რაც იმის მაუწყებელია, რომ მათი სისქე სინათლის ტალღის სიგრძის თანაზომიერია.

ქაფი შეიძლება მივიღოთ როგორც *დისპერგაციის*, ისე *კონდენსაციის* მეთოდით. *დისპერგაციის მეთოდით ქაფი მიიღება წვრილი ნახვრეტიდან სითხეში აირის ბარბოტირებით, როცა მისი ჭავლი იშლება ბუშტების წარმოქმნით.* ქაფი წარმოიქმნება აირის მექანიკური შერევით სითხესთან, მაგალითად, ფლოტაციის დროს, რეცხვისას და სხვა. *კონდენსაციის მეთოდით* ქაფი მიიღება სისტემაში ახალი, აირადი ფაზის ბუშტების სახით წარმოქმნისას. ბუშტები ან ქიმიური რეაქციის შედეგად გამოიყოფა სარეაქციო არიდან, ან კიდევ, წნევის შემცირებისა და ტემპერატურის გაზრდისას სითხიდან გახსნილი აირის გამოყოფით. კონდენსაციური მეთოდის მაგალითია ქაფის წარმოქმნა ქაფიანი ცეცხლმაქრობების გამოყენებისას, გაზიან სასმელებში, რომლებიც გაჯერებულია ნახშირბადის დიოქსიდით და ა.შ.

ქაფის მიღება შეიძლება უბრალოდ, ჰაერზე სითხის შენჯღრევისას. სუფთა სითხეში ქაფი ძალიან უმდგრადია და იგი შეიძლება არსებობდეს დინამიკურ რეჟიმში, ანუ როდესაც ბუშტების წარმოქნის სიჩქარე მისი დაშლის სიჩქარის ტოლია. იდეალურად სუფთა სითხის აქაფება ხდება მასში აირის 0,7–1,3 მ/წმ სიჩქარით გატარებისას. ასეთ სითხეებში აირის სიჩქარის შემცირება ქაფის მყისიერ გაქრობას იწვევს. ამიტომ სტატიკურ პირობებში ქაფის მისაღებად საჭიროა სპეციალური სტაბილიზატორები, რომლებსაც *ქაფწარმომქმნელები* ეწოდება. მათ ტიპზე დამოკიდებულებით ქაფი შეიძლება არსებობდეს რამდენიმე წუთიდან რამდენიმე საათამდე. ქაფწარმომქნელები განსხვავდება არა მარტო ქაფის მდგრადობით, არამედ მათი კონცენტრაციის გავლენით მდგრადობაზე.

ქაფის მდგრადობაზე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გავლენის შესწავლით დადგინდა, რომ დაბალმოლეკულური სპირტებისა და ცხიმოვანი მჟავების ქაფების მაქსიმალურ მდგრადობას შეესაბამება მათი გარკვეული კონცენტრაცია, რომელიც ამ ნივთიერებათა ჰომოლოგიურ მწკრივში ნახშირბადის ატომების რიცხვის ზრდის შესაბამისად მცირდება. ამათგან განსხვავებით, ქაფწარმომქმნელების მეორე ჯგუფი - საპნები, გლიკოზიდები, საპონინი და ცილები ხელს უწყობს ქაფის წარმოქმნას წყალხსნარებში, რომლის მდგრადობა კონცენტრაციის გაზრდით განუწყვეტლივ იზრდება.

ქაფში ფაზების შეფარდებითი შემცველობა ხასიათდება მისი *ჯერადობით* ( ). *ჯერადობა არის ქაფის მოცულობის ფარდობა სითხის იმ მოცულობასთან, რომელსაც ქაფი შეიცავს.* ჯერადობა შეიძლება შეფასდეს ქაფის სიმკვრივით (დქაფ). თუ აირის სიმკვრივეს უგულებელვყოფთ, ქაფის სიმკვრივე შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$\text{დ}_{\text{ქაფ}} = \frac{\text{V}_{\text{სითხ}}}{\text{Sh}} \ \text{დ}_{\text{სითხ}} \qquad (7.1)$$

სადაც $\text{V}_{\text{სითხ}}$ სითხის მოცულობაა, რომლისგანაც წარმოიქმნება ქაფი, შ - ქაფის სვეტის კვეთის ფართობი, ჰ - ქაფის სვეტის სიმაღლე, $\text{დ}_{\text{სითხ}}$ კი - სითხის სიმკვრივეა. ქაფის ჯერადობა შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი ფორმულით:

$$= \frac{\text{Sh}}{\text{V}_{\text{სითხ}}} = \frac{\text{d}_{\text{სითხ}}}{\text{d}_{\text{ქაფ}}} \qquad (7.2)$$

ქაფის ჯერადობა განსაზღვრავს მის სტრუქტურას. როდესაც =10–20, აირის ბუშტულებს სფეროს ფორმა

აქვს. როდესაც აღწევს რამდენიმე ათეულს ან ასეულს, ბუშტულები წარმოქმნიან მრავალწახნაგა უჯრედებს, რომლებიც ერთმანეთისაგან გამოყოფილია სითხის თხელი აპკით. ასეთი აპკების თვისება განსაზღვრავს ქაფის თვისებას. ამასთან დაკავშირებით ტარდება მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები მრგვალი გამტარის კარკასზე გადაჭიმული თავისუფალი აპკებისა, რომლებსაც *ორმხრივი აპკი* ეწოდება. მათი თვისებები დამოკიდებულია ადსორბციული შრეების მდგომარეობაზე, რომელთა შორის მოთავსებულია აპკთაშორისი სითხე. ამ აპკებში ადსორბციული შრეების სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებების მახასითებელია *ზედაპირული სიბლანტე*, რომელიც ჩვეულებრივი მონოშრის სიბლანტის ანალოგიურია.

ორმხრივ აპკებში ადსორბციული შრეების სტრუქტურულ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლის ზუსტი მეთოდით დადგინდა, რომ ქაფის მდგრადობა ამ შრეების მაღალი ზედაპირული სიბლანტითაა განპირობებული.

უჯრედოვანი სტრუქტურის მქონე ქაფის თავისებურება არის სითხის სიმრუდის მკვეთრი განსხვავება აპკის იმ ადგილში, სადაც სამი აპკი იყრის თავს. ამ ადგილს *პლატოს უბანი* ეწოდება. როგორც ვიცით, *სითხის ჰიდროსტატიკური წნევა მით ნაკლებია, რაც უფრო მეტია მისი ზედაპირის სიმრუდე. ამიტომ სითხე გამოედინება აპკიდან პლატოს უბანში და აპკი უფრო*

თხელი ხდება. სიმძიმის ძალის გავლენით სითხე ჩამოედინება ქვევით. ქაფის მდგრადობა პლატოს მიხედვით იმით აიხსნება, რომ სიბლანტის ეფექტის შედეგად აპკი ნელ-ნელა თხელდება. ეს წარმოდგენები განვითარებული იქნა რებინდერის მიერ ქაფწარმოქმნისათვის საპნების, ცილისა და საპონინის ხსნარებში, რომლის თანახმად აპკში წარმოქმნილი სტრუქტურა ხელს უშლის აპკის დაშლას.

ქაფწარმომქმნელები განსხვავდება მასტრუქტურირებელი მოქმედებით. დაბალი მოლეკულური წონის მქონე ნივთიერებების (სპირტები, მჟავები, ამინები, ფენოლები და სხვა) ხსნარებში პრაქტიკულად არ ხდება სტრუქტურების წარმოქმნა, ხოლო აპკთაშორისი სითხე ჩქარა გამოედინება. საპნები, სინთეზური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები, ცილები და სხვა წყალში ხსნადი მაღალმოლეკულური ნაერთები წარმოქმნიან ქაფს, რომლიდანაც დროის გარკვეულ მომენტამდე სითხის გამოდინება მკვეთრადაა შემცირებული. ასეთ სისტემებში წარმოქმნილი ქაფის სტუქტურული კარკასი უზრუნველყოფს ქაფის მდგრადობას.

დერიაგინის თერმოდინამიკური თეორიის თანახმად, აპკის ხანგრძლივად არსებობა აიხსნება მაღალი ენერგეტიკული ბარიერით, რომელიც ყოფს აპკის შედარებით მდგრად, მეტასტაბილუ- რი წონასწორობის მდგომარეობას აპკის დარღვევის შემდეგ სისტემის

აბსოლუტურად მდგრადი მდგომარეობისაგან. ბარიერის წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზი *გამპობადი წნევაა.*

ქაფის სტაბილურობის საზომად იყენებენ ცალკეული ბუშტის სიცოცხლის ხანგრძლივობას ან ცილინდრში სითხის ფენაში აირის ჩაბერვის გზით წარმოქმნილი ქაფის ცალკეული ნაწილის დაშლის დროს.

ქაფწარმოქმნის პროცესი გამოიყენება მაღალფოროვანი თერმოსაიზოლაციო მასალების (ქაფბეტონი, ქაფმინა), პლასტიკური მასების (პენოპლასტი) წარმოებაში, სასარგებლო წიაღისეულის გამდიდრებისას (ქაფიანი ფლოტაცია) და ა.შ.

რიგ შემთხვევებში ქაფწარმოქმნა არასასურველი პროცესია. ორთქლის მანქანის ქვაბებში წარმოქმნილ ქაფს შეუძლია დაარღვიოს თბოენერგეტიკული დანადგარების მუშაობა. *ქაფი ქრება სითხეში ისეთი ნივთიერების შეტანით, რომელიც უფრო მეტი ზედაპირული აქტიურობის გამო ქაფწარმომქმნელს გამოაძევებს ადსორბციული შრიდან. ქაფი შეიძლება დაიშალოს აგრეთვე მექანიკური გზით: ჰაერის ჭავლით ან აკუსტიკური რხევებით.*

72. აეროზოლები

დისპერსიულ სისტემას აირადი სადისპერსიო გარემოთი აეროზოლი ეწოდება. ლიოზოლისაგან აეროზოლის განსხვავება განპირობებულია სადისპერსიო

გარემოს გაუხშოებით და, შესაბამისად, მცირე სიბლანტით, რაც ხელს უწყობს ამ სისტემაში ბროუნის მოძრაობის ინტენსიურობისა და სედიმენტაციის სიჩქარის ზრდას. გარდა ამისა, აირად ფაზაში ელექტროლიტური დისოციაციის პროცესი არ ხდება და ამის გამო ნაწილაკების გარშემო ორმაგი ელექტრული შრე არ წარმოიქმნება.

აეროზოლების კლასიფიკაციას ახდენენ დისპერსიული ფაზის აგრეგატული მდგომარეობისა და მიღების მეთოდების მიხედვით. პირველი ნიშნის შესაბამისად არსებობს აეროზოლების ორი ჯგუფი: *კვამლი* და *ნისლი.* ნისლი - თხევადი დისპერსიული ფაზის შემცველი აეროზოლია, კვამლი - მყარი ფაზის. ამ კლასიფიკაციის მიხედვით კვამლს მიეკუთვნება მტვერი - უფრო მსხვილი მყარი ნაწილაკების შემცველი სისტემა.

კვამლი, რომელშიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებზე ატმოსფეროდან ტენის მნიშვნელოვანი რაოდენობაა ადსორბირებული, წარმოადგენს ერთდროულად კვამლსა და ნისლს. ასეთი სისტემები ხშირად წარმოიქმნება დიდი სამრეწველო ქალაქების თავზე. მას *სმოგი* ეწოდება (ინგლისურიდან სმოგ –კვამლი, ფოგ - ნისლი).

დისპერსიულობის მიხედვით მყარი დისპერსიული ფაზის მქონე აეროზოლები იყოფა: კვამლად, რომელშიც ნაწილაკების ზომა 10^{-7}-10^{-3} სმ-ია, *მტვრად,* რომელშიც ნაწილაკების ზომა > 10^{-3} სმ. ნისლში ნაწილაკების (წვეთების) ზომა $10^{-5} \div 10^{-3}$სმ-ია.

წარმოშობის (ან მიღების ხერხების) მიხედვით აეროზოლები არის *დისპერგაციული* და *კონდენსაციური. დისპერგაციული აეროზოლი მიიღება მყარი ნივთიერების დაწვრილმანებით, ან სითხის გაფრქვევით, ანუ დისპერგაციით. ამ გზით მიღებული სისტემა საკმაოდ მსხვილ ნაწილაკებს შეიცავს და, როგორც წესი, პოლიდის-*

პერისიულია. კონდენსაციის მეთოდით აეროზოლი მიიღება ან გადაჯერებული ორთქლიდან, ან ქიმიური რეაქციის შედეგად.

აეროზოლებში ნაწილაკის ფორმა დამოკიდებულია დისპერსიული ფაზის აგრეგატულ მდგომარეობაზე. ნისლში ნაწილაკები უმეტესად სფეროსებრია, მტვერში მათ სხვადასხვაგვარი ფორმა აქვს (ნებისმიერი, ფირფიტისებრი, ვარსკვლავისებრი). კვამლში ნაწილაკები შეიძლება დიდი ზომის რთულ აგრეგატებს წარმოადგენდეს.

ჩვეულებრივ აეროზოლებში ნაწილაკის ფორმისა და ზომის განსაზღვრა მიკროსკოპით, ულტრამიკროსკოპით ან ელექტრონული მიკროსკოპით ხდება. აეროზოლების ოპტიკური თვისებები იმავე კანონზომიერებებს ემორჩილება რასაც ლიოზოლები. თუმცა, დისპერსიული ფაზისა და გარემოს სიმკვრივეების განსხვავების გამო, მათი გარდატეხის მაჩვენებლებიც განსხვავებულია და სხვა ოპტიკური თვისებებიც. აეროზოლები ფართოდ გამოიყენება კვამლის ფარდების შესაქმნელად. სინათლის განბნევისა და არეკვლის ყველაზე დიდი უნარი $2\,5$-ის კვამლს აქვს. მისი შემნიღბავი უნარი ერთეულადაა მიღებული. აეროზოლები შედარებით დიდი გაუხშოების გამო ხასიათდება სადისპერსიო გარემოს მცირე შინაგანი ხახუნით – სიბლანტით, რაც მათ მოლეკულურ-კინეტიკურ თვისებებში აისახება.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, აეროზოლებში ნაწილაკის გარშემო ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნა შეუძლებელია. მიუხედავად ამისა, მათ განსაზღვრულ პირობებში გააჩნიათ მუხტი, რომლის წარმოქმნა დაკავშირებულია ნაწილაკებს შორის კონტაქტის წარმოქმნასა და მათ შემდგომ რღვევასთან ან ნაწილაკის ზედაპირზე აირიდან იონების ადსორბციასთან, ანუ, ნაწილაკის ზედაპირული მუხტი შემთხვევითია; მისი სიდიდე და ნიშანი კი დამოკიდებულია აეროზოლის წარმოქმნის მეთოდებზე. ერთნაირი ზომისა და შედგენილობის

ნაწილაკებს შეიძლება გააჩნდეს სიდიდით (ზოგჯერ ნიშნითაც) სხვადასხვა მუხტი, რომლის ცვლილება დროში სრულიად შემთხვევით ხასიათს ატარებს. ამიტომ *აეროზოლის ნაწილაკების ელექტრული მდგომარეობა შეიძლება მხოლოდ სტატისტიკური მეთოდით დახასიათდეს.* ნაწილაკზე მუხტის სიდიდე მით მეტია, რაც მეტია მისი ზომა. *პრაქტიკიდან გამომდინარე, დადგენილია, რომ ლითონებისა და მათი ოქსიდების აეროზოლებში ნაწილაკები დადებითადაა დამუხტული, ხოლო არალითონების ნაწილაკები - უარყოფითად.*

აეროზოლების ელექტრულ თვისებებთან დაკავშირებულ მოვლენებს ხშირად ვხბდებით პრაქტიკაში. აეროზოლების ნაწილაკების მოძრაობა და დალექვა ჭექა-ქუხილის მიზეზს წარმოადგენს, ის ხელს უშლის მართვისა და დაკვირვების ხელსაწყოების მუშაობას.

ძალიან მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს აეროზოლების დაშლა. პრობლემა აქტუალურია კვამლის, აგრეთვე, სხვადასხვა საწარმოო პროცესისა და მშენებლობისას წარმოქმნილი მტვრის წინააღმდეგ პრაქტიკული ბრძოლის თვალსაზრისით. ეს ღონისძიებები ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდის გამოყენებით. მათი მრავალსახეობის მიუხედავად, *ყველა მეთოდში შეიძლება ორი ძირითადი სტადია გამოვყოთ: დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების დაჭერა - გამოყოფა სადისპერსიო გარემოდან (უმეტეს შემთხვევაში ჰაერიდან) და ამ გარემოში მათი კვლავ მოხვედრის თავიდან აცილება.* აეროზოლების დალექვისათვის უმეტესად გამოიყენება ინერციული და ელექტროსტატიკური ძალები. შესაბამისად, მეთოდებს ეწოდება *ინერციული* და *ელექტროსტატიკური.*

7.3. სუსპენზიები(6.6)

სუსპენზია სითხეში შეწონილი მყარი დისპერსიული ფაზაა. მას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ბუნებასა და ტექნიკაში. ტენის საკმაო შემცველობისას სუსპენზიებს მიეკუთვნება ნიადაგი და გრუნტი, კერამიკული ნაკეთობებისათვის გამოყენებული თიხის ცომი, ცემენტისა და კირის ხსნარები, რომლებიც სამშენებლო საქმეში გამოიყენება, მინანქრის და კერამიკული ჭიქურების შლიკერები და ა.შ. სუსპენზიებს წარმოადგენს ორგანულ გარემოში შეწონილი პიგმენტები, რომლებიც ზეთიანი საღებრებისა და ფერადი ლაქების სახით გამოიყენება. ქიმიურ წარმოებაში მარილების წვრილკრისტალურ მდგომარეობაში მიღებისას სუსპენზიებთან გვაქვს საქმე.

სუსპენზიებს მთელი რიგი საერთო თვისებები აქვს ფხვნილებთან. ისინი მსგავსნი არიან დისპერსიულობის მიხედვით. ფხვნილის თხევად სადისპერსიო გარემოში ჩაყრითა და შენჯრევით *სუსპენზია* მიიღება, ხოლო სუსპენზიის გამოშრობით კვლავ *ფხვნილი.* . კოცენტრირებულ სუსპენზიებს პასტები, პულპები, შლამები, შლიკერები ეწოდება.

დისპერსიულობის მიხედვით სუპენზიები იყოფა: უხეში (ნაწილაკების დიამეტრი 100 მკმ-ზე მეტი), წვრილი (100 ÷ 5 მკმ-დე), მღვრიე (0,5 ÷ 100 ნმ-დე).

სუსპენზიებში ნაწილაკების ზომა ზოლებთან შედარებით ბევრად დიდია; ისინი სედიმენტაციურად არამდგრადი სისტემებია, თუ სადისპერსიო გარემოს სიმკვრივე ძალიან ახლო არაა ფაზის სიმკვრივესთან, სიბლანტე კი არ არის ძალიან დიდი. ამავე მიზეზით

სუსპენზიები არ ამჟღავნებს ოსმოსურ წნევას და ბროუნის მოძრაობას, არ ახასიათებს დიფუზიის უნარი.

სუსპენზიები ერთდროულად შთანთქავენ და განაბნევენ სინათლეს. თუმცა მათი ნაწილაკები კოლოიდურ ნაწილაკებზე ზომით მეტია; ზოლებისაგან განსხვავებით სუსპენზიები ასეთ თვისებებს არა მარტო გვერდითი განათებისას, არამედ გამავალ სინათლეზეც ამჟღავნებს.

აგრეგატული მდგრადობის მიხედვით სუსპენზიებს ბევრი საერთო აქვს ზოლებთან. სუსპენზიის ნაწილაკებს, ისევე როგორც ლიოფობური კოლოიდური სისტემების ნაწილაკებს, ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრე ან სოლვატური გარსი აკრავს. სუსპენზიის ნაწილაკების ელექტროკინეტიკური პოტენციალი (ξ) შეიძლება განსაზღვრულ იქნას *მაკრო და მიკრო ელექტროფორეზით*, მისი მნიშვნელობა იგივე რიგისაა, როგორც კოლოიდური ნაწილაკების. ელექტროლიტების ზემოქმედებისას სუსპენზიები კოაგულაციას განიცდის. განსაზღვრულ პირობებში სუსპენზიებში წარმოიქმნება სივრცითი კოაგულაციური სტრუქტურები, რომლისთვისაც სინერეზისის მოვლენაა დამახასიათებელი. რაც შეეხება ტიქსოტროპიის მოვლენას, შესაბამისი პირობების შექმნის შემთხვევაში, იგი სუსპენზიებში გაცილებით ძლიერაა გამოხატული, ვიდრე ლიოფობურ ზოლებში.

სუსპენზიებისათვის დამახასიათებელია ზოგიერთი ისეთი თვისება, რომელიც სხვა დისპერსიულ სისტემებს არ გააჩნია. მაგალითად, *ფილტრაცია* და *კოლმატაცია.*

სუსპენზიების ფილტრაცია ნაწილაკების დისპერსიულობითა და აგრეგაციის ხარისხით, აგრეთვე კოაგულაციური სტრუქტურების წარმოქმნითა და გაფილტრულ ნალექში მათი თვითგამკვრივების უნარით

განისაზღვრება. ამიტომ ფილტრაცია რთული ფიზიკო-ქიმიური პროცესია, რომელზეც ნაწილაკების აგრეგაციისა და კოაგულაციური სტრუქტურების წარმოქმნის განმსაზღვრელი ყველა ფაქტორი მოქმედებს.

არანაკლებ რთულია კოლმატაციის პროცესი. ეს არის თიხის ან ნაცრის უმცირესი ნაწილაკების „შერეცხვა“ გრუნტის ფორებში წყალგამტარიანობის შემცირების მიზნით, რაც ყველაზე ხშირად სხვადასხვა ჰიდროტექნიკურ მოწყობილობებში – დამბებში და კაშხალებში ხდება.

7.4. ემულსიები

ემულსია ეწოდება ერთმანეთში უხსნადი ორი სითხისაგან შემდგარ დისპერსიულ სისტემას, რომელშიც ერთი სითხე უწვრილესი წვეთების სახითაა განაწილებული მეორეში. ემულსიების დისპერსიულობა ფართო ზღვრებში იცვლება; მათი უმრავლესობა მიკროჰეტეროგენულ სისტემებს მიეკუთვნება (ნაწილაკების ზომა >100 ნმ), რის გამოც მათი დანახვა შესაძლებელია ჩვეულებრივ მიკროსკოპში.

ემულსიის სახელწოდებისას ჯერ ასახელებენ დისპერსიულ ფაზას, ხოლო შემდეგ – სადისპერსიო გარემოს. მაგალითად, ბენზოლის ემულსია წყალში ნიშნავს, რომ ბენზოლი წვეთების სახითაა განაწილებული წყალში.

ემულსიის წარმომქმნელი ორივე თხევადი ფაზა ერთმანეთისაგან ძალიან განსხვავდება მოლეკულათა შორის მოქმედი ძალებით. ემულსიის მისაღებად აუცილებელია ერთნაირი სახის მოლეკულებს შორის მოქმედი ძალები მნიშვნელოვნად მეტი იყოს სხვადასხვა სახის მოლეკულათა შორის მოქმედ ძალებზე, ანუ ერთი სითხე *პოლარული* უნდა იყოს, მეორე კი – *არაპოლარული.*

რომ გაარჩიონ ემულსიის წარმომქმნელი სითხეებიდან რომელია დისპერსიული ფაზა და რომელი არე, პოლარულ სითხეს პირობითად „წყალი“ ეწოდება, ხოლო არაპოლარულს - „ზეთი“. ამის შესაბამისად არსებობს ემულსიების ორი ტიპი: „ზეთი-წყალში“ (ზ/წყ) და „წყალი-ზეთში“ (წყ/ზ), რომელთაგან პირველი ტიპის ემულსიებს *პირდაპირი*, მეორეს კი – *შებრუნებული ემულსიები* ეწოდება. ნავთის, ბენზოლისა და ოთხქლორიანი ნახშირბადის ემულსია წყალში პირველი ტიპისაა (პირდაპირი), ხოლო წყლის ემულსია ბენზოლში – მეორე ტიპის(შებრუნებული). სახელწოდება „ზეთი“ აქ გულისხმობს თხევად ცხიმებს, ნახშირწყალბადებსა და სხვა ნაკლებად პოლარულ სითხეებს.

დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის მიხედვით ემულსიები იყოფა *განზავებულ* და *კონცენტრირებულ ემულსიებად*. განზავებულს, ჩვეულებრივ, ისეთ ემულსიას უწოდებენ, რომელშიც დისპერსიული ფაზის მოცულობითი კონცენტრაცია 0,1%-ს არ აღემატება. ასეთი ემულსიები მაღალდისპერსიულობით გამოირჩევა (ნაწილაკების ზომა <100ნმ). კონცენტრირებულ ემულსიაში კი დისპერსიული ფაზის კონცენტრაცია 74%-ს არ აღემატება. ასეთი კონცენტრაცია შეესაბამება ერთნაირი ზომის სფერული წვეთების უმჭიდროეს წყობას, რომლის დროსაც წვეთების დეფორმაცია არ შეინიშნება. თუ დისპერსიული ფაზის კონცენტრაცია 74%-ს აღემატება, მაშინ ემულსიას *მაღალკონცენტრირებული* ეწოდება. მასში წვეთების მოძრაობა არ ხდება; ისინი მნიშვნელოვნად არიან დეფორმირებულნი, ხოლო სადისპერსიო არე თხელი შუა შრის – *ემულსიური აპკის* სახეს იღებს. ასეთი სტრუქტურული დაყოფა იმით აიხსნება, რომ განზავებული და კონცენტრირებული ემულსიების წარმოქმნისა და

მდგრადობის პირობები ერთმანეთისაგან მკვეთრადაა განსხვავებული.

ემულსიის ტიპის განსაზღვრისათვის ყველაზე უფრო ხშირად *კონდუქტომეტრული, შერევის,* ანუ *განზავებისა* და *შეღებვის* მეთოდები გამოიყენება.

როგორც ცნობილია, წყლისა და წყალხსნარების კუთრი ელექტროგამტარობა გაცილებით მეტია მასში უხსნადი ორგანული სითხეების კუთრ ელექტროგამტარობაზე. დისპერსიული სისტემის ელგამტარობა რიგით ახლოა სადისპერსიო გარემოს ელგამტარობასთან. ამიტომ *მარტივად შეიძლება დავადგინოთ ემულსიის ტიპი. თუ ემულსიის ელგამტარობა საკმაოდ დიდია, ეს ნიშნავს, რომ იგი პირველი ტიპისაა, დაბალი ელგამტარობის შემთხვევაში კი – II ტიპის. მეთოდი მოსახერხებელია ტიპის დასადგენად ემულსიის მცირე რაოდენობის შემთხვევაში. მეთოდის საიმედოობა მაშინაა დაცული, როცა სადისპერსიო გარემოსა და ფაზის ელგამტარობები მკვეთრად განსხვავდება, ხოლო ნაკლებ საიმედოა კონცენტრირებულ ემულსიებში.*

ფაზების შერევის მეთოდით ემულსიის ტიპის დასადგენად, სასაგნე მინაზე მოათავსებენ ემულსიის პატარა წვეთს, მის გვერდით დააწვეთებენ წყალს ან არაპოლარულ სითხეს. მინის დახრისას ორივე წვეთს შეახებენ ერთმანეთს, მათი შეერთება იმის მაჩვენებელია, რომ აღებული სითხე მოცემული ემულსიისათვის სადისპერსიო გარემოს წარმოადგენს.

შეღებვის მეთოდი ეყრდნობა ორი ტიპის საღებრის გამოყენებას. იღებენ ემულსიის ორ სინჯს, ერთის ზედაპირზე აფრქვევენ წვრილად დაფხვნილ წყალში უხსნად საღებარს, მეორისაზე კი - წყალში ხსნადს. ნიმუშებს ფრთხილად ურევენ. მიკროსკოპში აკვირდებიან

შეფერილობის განაწილებას მოცულობაში. თუ შეფერილობა წყალში ხსნადი საღებრიდან მთელ მოცულობაში ვრცელდება, ემულსია პირველ ტიპს- (ზ/წყ) ეკუთვნის. სისტემის მთლიანი შეღებვა ზეთში ხსნადი საღებრით იმაზე მიუთითებს, რომ ემულსია მეორე ტიპისაა- (წყ/ზ). ამ მეთოდის გამოყენებისას საგულდაგულოდ უნდა შეირჩეს გამხსნელები. საქმე იმაშია, რომ საღებარები, როგორც ემულსიის ტიპის უნივერსალური ინდიკატორები არ არსებობს.

ემულსიის მიღება შეიძლება როგორც დისპერგაციის, ისე კონდესაციის მეთოდით, მაგრამ პრაქტიკაში, როგორც წესი, მათ დისპერგაციის მეთოდით იღებენ.

ემულგირების ეფექტურობა დამოკიდებულია ნაკადის სიჩქარეზე შერევისას. კრიტიკულ სიჩქარეზე დაბალი სიჩქარეებისათვის ემულგირება არ მიმდინარეობს. ემულსიის მიღებისთვის ყველაზე ეფექტური აპარატი კოლოიდური წისქვილია.

ჩამოთვლილი მეთოდებით მიღებული და ზოგიერთი ბუნებრივი ემულსია, მაგალითად, რძე პოლიდისპერსიულობითა და დისპერსიული ფაზის საკმაოდ მსხვილი წვეთებით გამოირჩევა. მათი შენახვა და გამოყენება ხშირად რიგ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული, რადგან ისინი ადვილად განშრევდებიან. ხელმეორედ წვეთების ზომის შემცირებას, რომელსაც თან ახლავს მათი ზომების გათანაბრება, *ჰომოგენიზაცია* ეწოდება. წარმოებაში ჰომოგენიზაციას ანხორციელებენ ემულსიის გატარებით ვიწრო ნახვრეტში მაღალი წნევის (35 მეგაპასკალი) ქვეშ. ჰომოგენიზირებული რძე განშრევების გარეშე შეიძლება თვეების განმავლობაში შეინახოს. მდგრად ემულსიებს იღებენ ულტრაბგერების

გამოყენებითაც, რომელსაც თან ახლავს ერთდროულად მიმდინარე პროცესები - *დისპერგირება* და *კოაგულაცია*.

ორი სითხის შერევისას მდგრადი ემულსია არ მიიღება, წარმოქმნილი წვეთები შეჯახების დროს ერთმანეთს ეწებება (*კოალესცენცია*) და ემულსია სწრაფად განშრევდება.

მდგრადი ემულსიის მისაღებად საჭიროა *სტაბილიზატორის* გამოყენება, რომელსაც ამ შემთხვევაში *ემულგატორი* ეწოდება. *ომბინაცია: დისპერსიული ფაზა, სადისპერსიო გარემო და ემულგატორი განსაზღვრავს ემულსიის ტიპს და მათ უმნიშვნელოვანეს თვისებებს.*

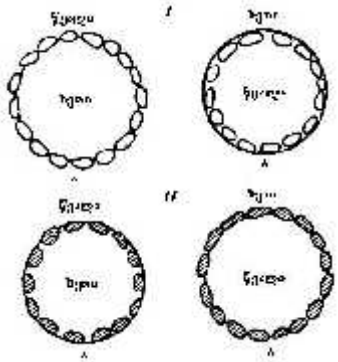
ემულგატორად გამოდგება ნივთიერება, რომელიც კარგად იხსნება ემულსიის ერთ-ერთ ფაზაში და მყარი ნივთიერებები. ემულგატორების პირველი ჯგუფი ვრცელია და პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება. ის მოიცავს ბუნებრივი და სინთეზური ნაერთების ძალიან დიდ რიცხვს, რომელთა შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს კოლოიდურ, ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს. ისინი ორივე ტიპის ემულსიის სტაბილიზაციას იწვევენ. მათი მოქმედება დამოკიდებულია მოლეკულის პოლარული (ჰიდრო-ფილური) ჯგუფისა და ჰიდროფობური (არაპოლარული) რადიკალის შეხამებაზე. ჰიდროფილური პოლარული ჯგუფისა და ჰიდროფობური რადიკალის მოქმედებათა თანაფარდობის მახასიათებელია *გრიფინის* მიერ შემოღებული *ჰიდროფილურ-ლიპოფილური ბალანსის* (**ჰლბ**) მნიშვნელობათა ემპირიული სკალა. ამ სკალის მიხედვით ნაერთები, რომლებიც ნახშირწყალბადის დიდ რადიკალს შეიცავს, **ჰლბ** დაბალი მნიშვნელობით ხასიათდება. ემულგატორებს შუალედური ადგილი უჭირავს იმ ნაერთებს შორის, რომელთაგან ერთის

თვისებებზე ჭარბობს პოლარული ჯგუფის, ხოლო მეორისაზე – რადიკალის გავლენა. ამას განაპირობებს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მოლეკულის ისეთი აგებულება, რომ ერთი ფაზის მოცულობაში მისი „მიზიდვა“ კომპენსირდება მეორე ფაზის მოქმედებით საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამის გამო ენერგეტიკულად ხელსაყრელი აღმოჩნდება მოლეკულის მდებარეობა ფაზათა შორის. უნდა აღინიშნოს, რომ მდგრადი ემულსიის მიღებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ არა მარტო ემულგატორის, არამედ დისპერგირებადი ნივთიერების **ჰლბ** მნიშვნელობა.

ემულგატორების მოქმედება შერჩევითია, მის ასახსნელად მრავალი თეორია იქნა მოწოდებული, მაგრამ დამაკმაყოფილებლად არც ერთი მათგანი არ ითვლება. ამიტომ პრაქტიკაში ხელმძღვანელობენ ემპირიული კანონზომიერებით , რომლის თანახმად დადგენილია, რომ ტუტე ლითონების საპნები ზეთი/წყალში ტიპის ემულსიების სტაბილიზაციას იწვევს, მაგნიუმის, სტრონციუმის, რკინის, ალუმინის და სხვა მრავალვალენტიანი ლითონების საპნები კი - წყალი/ზეთში ტიპისას.

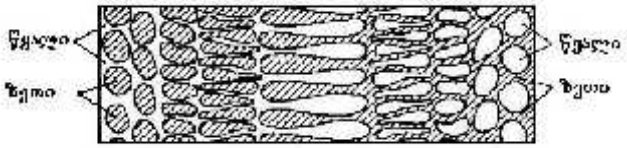
ბუნებრივი ემულგატორებიდან კარგადაა შესწავლილი საპნები და ცილები (კაზეინი, ჟელატინი და ა.შ.). ისინი ლიოფილური ემულგატორებია და ზეთი/წყალში ტიპის ემულსიების სტაბილიზაციისათვის გამოიყენება. ცილების მასტაბილიზირებელი უნარი იმით აიხსნება, რომ მათ ადსორბციას ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე ახლავს საკმაოდ მტკიცე დამცავი შრეების წარმოქმნა. მეორე ტიპის ემულსიების სტაბილიზატორად გამოიყენება ზეთის ფაზაში გახსნილი მაღალმოლეკულური ნაერთები.

ორივე ტიპის ემულსიის მიღება შეიძლება მყარი ემულგატორების (წვრილად დაფხვნილი მეტალი, მარილები, ბენტონიტური თიხები) თანაობისას. ამ დროს მიღებული ემულსიის ტიპი დამოკიდებულია მყარი ემულგატორის ზედაპირულ თვისებებზე. გადამწყვეტი როლი ენიჭება დასველების ხარისხს - ფხვნილების ჰიდროფილურობას. როგორც წესი, ამ დროს პირველი ტიპის ემულსია სტაბილიზირდება, ხოლო ჰიდროფობური ფხვნილებით კი მეორე ტიპის ემულსიის სტაბილიზაცია ხდება. ნახ. 7.1-ზე ნაჩვენებია ფხვნილებით ემულსიის სტაბილიზაცია.



ნახ. 7.1. მყარი ემულგატორის ნაწილაკების განაწილება ემულსიის წვეთების გამყოფ ზედაპირზე:
I – ჰიდროფილური ემულგატორი (კაოლინი);
II – ჰიდროფობური ემულგატორი (მური).

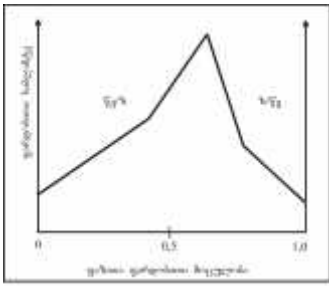
ემულსიაზე ზოგიერთი ნივთიერების დამატებისას ადგილი აქვს ემულსიის ტიპის ცვლილებას, ე.ი. პირველი ტიპის (ზეთი/წყალში) ემულსია გადადის მეორე ტიპში (წყალი/ზეთში). ამ მოვლენას *ემულსიის ფაზების შებრუნება* ანუ *ინვერსია* ეწოდება (ნახ. 7.2).



ნახ. 7.2. ემულსიის ფაზათა შებრუნება – ინვერსია.

ემულსიის ფაზების შებრუნება (ინვერსია) შეიძლება სხვადასხვა გზით მოხდეს. მათგან მნიშვნელოვანია: საწინააღმდეგოდ მოქმედი ემულგატორის (*ემულგატორ-ანტაგონისტის*) დამატება. ემულსიაში ისეთი ნივთიერების შეტანა, რომელიც ურთიერთქმედებს ემულგატორთან, დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის გაზრდა, ელექტროლიტის დამატება.

ფაზების შებრუნების მიზნით ემულსიაში დანამატების შეტანა კარგადაა შესწავლილი მცენარეული ზეთების ემულსიების მაგალითზე, რომლებიც სტაბილიზირებულია ნატრიუმიანი საპნებით. ინვერსიას იწვევს კალციუმის ქლორიდის ან სხვა ტუტემიწათა ლითონების მარილების დამატება. ეს იმით აიხსნება, რომ მიმოცვლის რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება კალციუმის, ბარიუმის, სტრონციუმის და სხვა ლითონების საპნები, რომლებიც იწვევენ წყალი/ზეთი ტიპის ემულსიის სტაბილიზაციას.



ნახ. 7.3. ემულსიის ფარდობითი სიბლანტის დამოკიდებულება ფაზათა ფარდობით მოცულობაზე

დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის ზრდის შედეგად ემულსიის ტიპის შეცვლა საკმაოდ ხშირი შემთხვევაა. ემულსიის ფაზების შებრუნება მისი თვისებების ცვლილებას იწვევს. ნახ. 7.3 მოცემულია ემულსიის ფარდობითი სიბლანტის დამოკიდებულება ფაზათა ფარდობით მოცულობაზე .სიბლანტის მაქსიმუმი მრუდზე ფაზების შებრუნების მომენტს შეესაბამება.

ემულსიებზე ელექტროლიტების გავლენის შესწავლით დადგინდა, რომ მაღალვალენტიანი კათიონების რიგში ინვერსირების, ანუ ფაზათა შებრუნების უნარი ზეთი/წყალში ტიპის ემულსიაში მცირდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

$$ლ^{3+} > ჩრ^{3+} > ი^{2+} > ბ^{2+} > ა^{2+} > შრ^{2+}$$

სავარაუდოა, რომ ემულსიაში ზეთის წვეთებს ზედაპირული მუხტი გააჩნია, ისინი გარშემორტყმულია საწინააღმდეგო ნიშნის იონებით. ელექტროლიტის დამატებისას ორმაგი ელექტრული შრის შეკუმშვის გამო წვეთებს შორის ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალები მცირდება, ისინი ერთმანეთს ეწებებიან წყლის შუა შრის თანაობით, რის შემდეგაც წყალი დისპერსიულ ფაზად გარდაიქმნება. ემულსიის ფაზების შებრუნება შეიძლება გამოწვეული იქნას ტემპერატურის შეცვლით,ან კიდევ, ემულსიაზე ხანგრძლივი მექანიკური ზემოქმედებით.

ფაზების შებრუნების ტემპერატურაზე ემულგატორის ჰიდროფილური და ჰიდროფობური ნაწილები ერთნაირად მოქმედებს. მექანიკური ზემოქმედებით ემულსიის შებრუნების კლასიკური მაგალითია ნაღების შედღვებით კარაქის მიღება. ამ დროს ზეთი/წყალში ტიპის ემულსია გარდაიქმნება

წყალი/ზეთში ტიპის ემულსიად მცირე რაოდენობით დისპერსული ფაზის თანაობისას.

ბუნებრივ ემულსიებს მიეკუთვნება მთელი რიგი მცენარეული და ცხოველური პროდუქტეი. რძე წარმოადგენს პირველი ტიპის (ზ/წ) ემულსიას. იგი რძის მრეწველობის ძირითადი ნედლეულია, რომლისგანაც მიიღება რძის მრავალი პროდუქტი: ნაღები, მაწონი, კეფირი, ყველი და ა.შ. ბუნებრივი ემულსიაა კვერცხის გული.

კვების მრეწველობაში ემულსიებს მიეკუთვნება: მარგარინი, მაიონეზი, სხვადასხვა სოუსები. ფარმაცევტულ მრეწველობაში მრავალი წამალი გამოიყენება ემულსიის სახით. ამასთანავე, როგორც წესი, წამლები შინაგანი მიღებისათვის წარმოადგენს პირველი ტიპის, ხოლო გარეგანი გამოყენებისათვის – მეორე ტიპის ემულსიებს.

ზეთი/წყალში ტიპის ემულსიებთან თვისებებით ახლოა ბუნებრივი და სინთეზური ლატექსი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობაში ელასტიკური აპკებისა და ფოროვანი მასალების, მფრინავი ბურთების მისაღებად, ტყავის შემცვლელი ქსოვილებისათვის წყალგაუმტარობის მისანიჭებლად, საბურავების წარმოებაში კორდის (ქსოვილი) გასაჟღენთად და ა.შ.

ქიმიურ მრეწველობაში ემულსიებთან საქმე გვაქვს ექსტრაქციურ აპარატებში, შერევის პროცესებში. სინთეზური ლატექსების მისაღებად გამოიყენება *ემულსიური პოლიმერიზაცია* – დისპერსული ფაზის წვეთებში მიმდინარე პოლიმერიზაცია. ემულსიებს იყენებენ ფოროვანი ორგანული სორბენტების, მემბრანების, აპკების, დანაფარების მისაღებად.

წარმოებაში ხშირად შეიძლება წარმოიშვას ემულსიის არა მიღების, არამედ დაშლის საჭიროება. პირდაპირი ემულსიები, რომლებიც სტაბილიზირებულია იონოგენური ემულგატორებით, შეიძლება დაიშალოს მრავალვალენტიანი იონების დამატებით. ემულსიის დაშლა შეიძლება აგრეთვე სხვა ემულგატორით, რომელიც ემულსიის ტიპის შებრუნებას იწვევს, ან ზედაპირულად უფრო აქტიური ემულგატორით, ტემპერატურის გაზრდით, ელექტრული მეთოდებით, ცენტრიფუგირებით, ფოროვან მასალებში ფილტრაციითა და სხვა.

VII თავის ძირითადი დასკვნები

1. *ქაფი* თავისუფალდისპერსიული სისტემაა, რომელიც შედგება აირადი დისპერსიული ფაზისა და თხევადი სადისპერსიო გარემოსაგან. ქაფი წარმოადგენს შედარებით უხეშ, მაღალკონცენტრირებული აირის (ჩვეულებრივ ჰაერის) დისპერსიას სითხეში, სადაც ჰაერის ბუშტულების ზომა რამდენიმე მილიმეტრის, ზოგჯერ სანტიმეტრის რიგისაა.

2. ქაფი შეიძლება მივიღოთ როგორც *დისპერგაციის*, ისე *კონდენსაციის* მეთოდით;

3. სტატიკურ პირობებში ქაფის მისაღებად საჭიროა სპეციალური სტაბილიზატორები, რომლებსაც *ქაფწარმომქმნელები* ეწოდება. მათ ტიპზე დამოკიდებულებით ქაფი შეიძლება არსებობდეს

რამდენიმე წუთიდან რამდენიმე საათამდე. ქაფწარმომქნელების განსხვავება მჟღავნდება არა მარტო ქაფის მდგრადობაში, არამედ მასზე ქაფწარმომქმნელის კონცენტრაციის გავლენაში;

4. ქაფში ფაზების შეფარდებითი შემცველობა ხასიათდება მისი *ჯერადობით* ( ). *ჯერადობა არის ქაფის მოცულობის ფარდობა სითხის იმ მოცულობასთან, რომელსაც ქაფი შეიცავს*;

5. ქაფის სტაბილურობის საზომად ცალკეული ბუშტის სიცოცხლის ხანგრძლივობას ან ცილინდრში სითხის ფენაში აირის ჩაბერვის გზით წარმოქმნილი ქაფის ცალკეული ნაწილის დაშლის დროს იყენებდნენ;

6. კოლოიდურ სისტემას აირადი სადისპერსიო გარემოთი აეროზოლი ეწოდება;

7. აეროზოლების კლასიფიკაციას ახდენენ დისპერსიული ფაზის აგრეგატული მდგომარეობისა და მიღების მეთოდების მიხედვით. პირველი ნიშნის შესაბამისად არსებობს აეროზოლების ორი ჯგუფი: *კვამლი* და *ნისლი*. ნისლი - თხევადი დისპერსიული ფაზის შემცველი აეროზოლი. კვამლი - მყარი ფაზის შემცველია. კვამლი, რომელშიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებზე ატმოსფეროდან ტენის მნიშვნელოვანი რაოდენობაა ადსორბირებული, ერთდროულად კვამლსაც და ნისლსაც წარმოადგენს – სმოგი ეწოდება;

8. წარმოშობის ან მიღების ხერხების მიხედვით აეროზოლებს მოიხსენიებენ როგორცს *დისპერგაციულსა* და *კონდენსაციურს*. დისპერგაციული აეროზოლები მყარი ნივთიერების დაწვრილმანებით ან სითხის

გაფრქვევით, ანუ დისპერგაციით მიიღება. ამ გზით მიღებული სისტემები საკმაოდ მსხვილ ნაწილაკებს შეიცავს და, როგორც წესი, პოლიდისპერსიულია. კონდენსაციის მეთოდით აეროზოლები მიიღება ან გადაჯერებული ორთქლიდან ან ქიმიური რეაქციის შედეგად.

9. დადგენილია, რომ ლითონებისა და მათი ოქსიდების აეროზოლებში ნაწილაკები დადებითადაა დამუხტული, ხოლო არალითონების ნაწილაკები – უარყოფითად.

10. *სუსპენზია* სითხეში შეწონილი მყარი დისპერსული ფაზაა.

11. სუსპენზიებს მთელი რიგი საერთო თვისებები აქვს ფხვნილებთან. ისინი მსგავსნი არიან დისპერსიულობის მიხედვით. ფხვნილის თხევად სადისპერსიო გარემოში ჩაყრითა და შენჯრევით *სუსპენზია* მიიღება, ხოლო სუსპენზიის გამოშრობით კვლავ *ფხვნილი* მიიღება;

12. *სუსპენზიები ერთდროულად შთანთქავენ და განაბნევენ სინათლეს.* თუმცა მათი ნაწილაკები კოლოიდურ ნაწილაკებზე ზომით მეტია, ზოლებისაგან განსხვავებით სუსპენზიები ასეთ თვისებებს არა მარტო გვერდითი განათებისას, არამედ გამავალ სინათლეზეც ამჟღავნებენ.

13. *აგრეგატული მდგრადობის მიხედვით სუსპენზიებს ბევრი საერთო აქვს ზოლებთან.* სუსპენზიის ნაწილაკებს, ისევე როგორც ლიოფობური კოლოიდური სისტემების ნაწილაკებს, ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრე ან სოლვატური გარსი აკრავს.

14. სუსპენზიებისათვის დამახასიათებელია ზოგიერთი ისეთი თვისება, რომელიც სხვა კოლოიდურ სისტემებს არ გააჩნია. მაგალითად, *ფილტრაცია* და *კოლმატაცია*;

15. *ემულსია* ეწოდება ერთმანეთში უხსნადი ორი სითხისაგან შემდგარ დისპერსიულ სისტემას, რომელშიც ერთი სითხე უწვრილესი წვეთების სახითაა განაწილებული მეორეში;

16. ემულსიის სახელწოდების მიღებისას ჯერ ასახელებენ დისპერსიულ ფაზას, ხოლო შემდეგ – სადისპერსიო გარემოს;

17. ემულსიის მისაღებად აუცილებელია ერთნაირი სახის მოლეკულებს შორის მოქმედი ძალები მნიშვნელოვნად მეტი იყოს სხვადასხვა სახის მოლეკულათა შორის მოქმედ ძალებზე, ანუ ერთი სითხე *პოლარული* უნდა იყოს, მეორე კი – *არაპოლარული.* პოლარულ სითხეს პირობითად ეწოდება „წყალი“, ხოლო არაპოლარულს - „ზეთი“. ამის შესაბამისად არსებობს ემულსიების ორი ტიპი: „ზეთი-წყალში“ (ზ/წ) და „წყალი-ზეთში“ (წ/ზ), რომელაგან პირველი ტიპის ემულსიებს *პირდაპირი*, მეორეს კი – *შებრუნებული ემულსიები* ეწოდება;

18. დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციის მიხედვით ემულსიები იყოფა *განზავებულ* და *კონცენტრირებულ ემულსიებად*;

19. ემულსიის ტიპის განსაზღვრისათვის ყველაზე უფრო ხშირად *კონდუქტომეტრული, შერევის* ანუ *განზავებისა* და *შეღებვის* მეთოდები გამოიყენება;

20. ემულსიის მიღება შეიძლება როგორც *დისპერგაციის*, ისე *კონდესაციის მეთოდით*, მაგრამ პრაქტიკაში, როგორც წესი, მათ დისპერგაციის მეთოდით იღებენ. ემულგირების ეფექტურობა დამოკიდებულია შერევისას ნაკადის სიჩქარეზე. კრიტიკულ სიჩქარეზე დაბალი სიჩქარეებისათვის ემულგირება არ მიმდინარეობს. ემულსიის მიღებისთვის ყველაზე ეფექტური აპარატი კოლოიდური წისქვილია;

21. მდგრადი ემულსიის მისაღებად საჭიროა *სტაბილიზატორის* გამოყენება, რომელსაც ამ შემთხვევაში *ემულგატორი* ეწოდება. კომბინაცია: დისპერსული ფაზა, სადისპერსიო გარემო და ემულგატორი განსაზღვრავს ემულსიის ტიპს და მათ უმნიშვნელოვანეს თვისებებს;

22. ემულგატორების მოქმედება შერჩევითია; მის ასახსნელად მრავალი თეორია იქნა მოწოდებული, მაგრამ დამაკმაყოფილებლად არც ერთი მათგანი არ ითვლება. ამიტომ პრაქტიკაში ემპირიული კანონზომიერებით ხელმძღვანელობენ, რომლის თანახმად დადგენილია, რომ ტუტე ლითონების საპნები „ზეთი/წყალი" ტიპის ემულსიების სტაბილიზაციას იწვევენ, ხოლო მაგნიუმის, სტრონციუმის, რკინის, ალუმინის და ასევე პოლივალენტური ლითონების საპნები კი - „წყალი/ზეთი" ტიპისას;

23. ემულსიაზე ზოგიერთი ნივთიერების დამატებისას ადგილი აქვს ემულსიის ტიპის ცვლილებას-ინვერსიას(პირველი ტიპის ემულსია გადადის მეორე ტიპში).

8. მაღალმოლეკულური ნივთიერებები (მოლეკულური კოლოიდები)

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებებს (მმნ), მაღალპოლიმერულ ნივთიერებებს და მათ ხსნარებს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს კოლოიდურ-ქიმიურ კლასიფიკაციაში. *მმნ-ს ხსნარები არსებითად ჭეშმარიტ, მოლეკულურ ხსნარებს წარმოადგენს, თუმცა კოლოიდური მდგომარეობის მრავალი ნიშნით ხასიათდებიან.* თავისთავადი გახსნისას მაღალმოლეკულური ნივთიერებები ცალკეულ მოლეკულებამდე დისპერგირდება და წარმოქმნის ჰომოგენურ, მდგრად და შექცევად სისტემებს. მაგალითად, ცილის ხსნარი წყალში და კაუჩუკის ხსნარი ბენზოლში პრინციპულად არ განსხვავდება ჩვეულებრივი მოლეკულური ხსნარისაგან. მაგრამ ამ მაკრომოლეკულების ზომები გიგანტურია ჩვეულებრივ მოლეკულებთან შედარებით და კოლოიდური ნაწილაკების თანაზომადია. აქედან გამომდინარე, მმნ ხსნარები ხასიათდება, ფაქტიურად, ისეთივე თვისებებით, როგორიც მაღალდისპერსიულ ჰეტეროგენულ სისტემებს აქვს. მაგალითად, დიფუზიის უნარით, ულტრაფილტრებზე შეკავებით, სტრუქტურების წარმოქმნით, ოპტიკური და ელექტრული თვისებებით ეს ხსნარები კოლოიდურ სისტემებთან უფრო ახლოა, ვიდრე მოლეკულურ სისტემებთან. *რადგანაც მმნ ხსნარებში შერწყმულია მოლეკულური ხსნარებისა და კოლოიდური სისტემების თვისებები, მათ მოლეკულური კოლოიდები ეწოდება.*

მოლეკულური კოლოიდები წარმოიქმნება მაღალმოლეკულური ნივთიერებების თავისთავადი გახსნით იმ გამხსნელში, რომელთანაც ეს მოლეკულები კარგად ურთიერთქმედებენ.

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებებს მიეკუთვნება ნივთიერებები, რომლებიც შედგება დიდი (მაკრო) მოლეკულებისაგან, რომელთა მოლეკულური წონა არანაკლებ 10000 – 15000 ნახშირბადის ერთეულია (ბუნებრივი მმნ მოლეკულის მასა ზოგჯერ აღწევს 1000000). შესაბამისად, მაკრომოლეკულის ზომა ბევრჯერ აღემატება ჩვეულებრივი მოლეკულის ზომას.

მაღალმოლეკულური ნივთიერებები *პოლიმერიზაციისა* და *პოლიკონდესაციის* პროცესში წარმოიქმნება. ამათგან პირველი პროცესის შედეგად ტიპიური მაღალპოლიმერული ნაერთები წარმოიქმნება, მეორეში კი შესაძლებელია წარმოიქმნას მაღალმოლეკულური ნივთიერებები, რომელთა მოლეკულები შედგება ატომთა არა ერთნაირი ჯგუფებისაგან და საკუთრივ პოლიმერებად არ ითვლება. მაგალითად, ცილები. ამიტომ ცნება მმნ უფრო ზოგადია და, როგორც კერძო შემთხვევას, მაღალპოლიმერულ სისტემებსაც მოიცავს.

არსებობს *ბუნებრივი* და *სინთეზური მაღალმოლეკულური ნივთიერებები.* ბუნებრივს მიეკუთვნება ბიოლოგიისა და ტექნიკისათვის აუცილებელი ორგანული ნაერთები: ცილები, პოლისახარიდები (სახამებელი, ცელულოზა), ბუნებრივი კაუჩუკი (ლატექსი). სინთეზურ მმნ-ს მიეკუთვნება სინთეზური კაუჩუკი და სხვადასხვა სინთეზური პოლიმერები.

პოლიმერიზაციის ან პოლიკონდენსაციის დროს, ტექნოლოგიური პროცესის არაერთგვაროვანი პირობების გამო, სხვადასხვა ზომის მაკრომოლეკულები მიიღება, ანუ ადგილი აქვს პოლიდისპერსიულობას, რომელიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მმნ ხსნადობას, გაჯირჯვების უნარს, მათი ხსნარებისა და თვით ამ ნივთიერებათა მექანიკურ თვისებებს. ამიტომ *მმნ-ს პოლიდისპერსიულობის ხარისხის განსაზღვრას და მის რეგულირებას დიდი მნიშვნელობა აქვს ტექნიკაში მათი გამოყენების თვალსაზრისით.*

ამავე თვისებებზე გავლენას მმნ მოლეკულური მასა ახდენს. ამდენად, მისი განსაზღვრის მეთოდის ცოდნა აუცილებელია. ორგანულ ნაერთთა მოლეკულური მასის განსაზღვრის მეთოდები ამ მიზნით, როგორც წესი, ნაკლებ გამოსადეგია. შემუშავებულია მოლეკულური მასის განსაზღვრის მრავალი მეთოდი, რომელთაგან ზოგიერთი ახლოა კოლოიდურ ქიმიაში გამოყენებულ ნაწილაკობრივი მასის განსაზღვრის მოლეკულურ-კინეტიკურ და ოპტიკურ მეთოდებთან დიფუზიის სიჩქარის, სიბლანტისა და გაბნეული სინათლის ინტენსივობის განსაზღვრის საფუძველზე.

როგორც აღვნიშნეთ, *მაღალმოლეკულური ნივთიერებები წარმოადგენს სხვადასხვა ზომის მაკრომოლეკულების ნარევს, რომელთა აგებულება პრონციპულად ერთნაირია, მაგრამ შეიცავს ერთი და იგივე მონომერებს სხვადასხვა როდენობით, ანუ განსხვავდებიან მოლეკულური წონით.* ამდენად, უფრო მართებულია, მათ დასახასიათებლად შემოვიღოთ *საშუალო მოლეკულური წონის ცნება,* რომლის სიდიდე დამოკიდებული იქნება მოლეკულური მასის განსაზღვრის დროს გამოყენებულ ექსპერიმენტულ მეთოდზე.

სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებები დისპერსიული სისტემის შიგა სტრუქტურის ფუნქციას წარმოადგენს, ამიტომ მმნ სტრუქტურასა და პრაქტიკული გამოყენების მიზნით მის თვისებებს შორის დამოკიდებულების დადგენას დიდი მნიშვნელობა აქვს.

არსებობს პოლიმერების სტრუქტურის რამდენიმე ტიპი: *ხაზოვანი* (ბუნებრივი კაუჩუკი), *განშტოებული* (სახამებელი), *სივრცითი* (ფენოლფორმალდეჰიდური ფისები). ცალკე ტიპს მიეკუთვნება *შეკრული სტრუქტურები* (ებონიტი). ხაზოვანი სტრუქტურა განსაზღვრავს პოლიმერის ისეთ მახასიათებელ თვისებებს, როგორიცაა: კაუჩუკისმაგვარი ელასტიკურობა, მტკიცე აპკებისა და ძაფების წარმოქმნისა და გაჯირჯვების უნარი, გახსნისას ბლანტი ხსნარების

წარმოქმნა. ხაზოვანი პოლიმერების სტრუქტურის ძირითადი თავისებურებები, რომლებიც განსაზღვრავს მათ თვისებებს, არის: ორი სხვადასხვა სახის კავშირის არსებობა ჯაჭვში და პოლიმერის მოქნილობა. პოლიმერის მოლეკულაში ქიმიური კავშირები აერთებს ატომებს ჯაჭვში, ხოლო მოლეკულათაშორისი კავშირები ერთმანეთთან მაკრომოლეკულურ ჯაჭვებს აკავშირებს. ასეთი ორგვარი კავშირი განსაზღვრავს მმნ თვისებების სპეციფიკას. ხაზოვანი პოლიმერების განსაკუთრებული მოქნილობა განპირობებულია ორ მეზობელ ნახშირბადის ატომს შორის ერთმაგი, ნაჯერი სავალენტო ბმის გარშემო ჯაჭვის ერთი უბნის ბრუნვით მეორის მიმართ. ასეთი ცალკეული ჩ – ჩ კავშირები მაკრომოლეკულაში საკმაოდ ბევრია, რაც მათ განსაკუთრებულ მოქნილობას იწვევს. ჩ – ჩ კავშირის გარშემო ბრუნვისათვის საჭიროა გარკვეული აქტივაციის ენერგია, ანუ აუცილებელია გადაილახოს ენერგეტიკული ბარიერი, რომელიც დამოკიდებილია იმ ატომების ბუნებაზე, რომლისგანაც ჯაჭვი შედგება. ეს შესაძლებელია საკმაოდ მაღალი ტემპერატურის პირობებში. მეზობელი ატომების ბრუნვა ჯამდება ერთი მიმართულებით მათი ერთდროული ბრუნვისას და, თუ ჯაჭვი საკმაოდ გრძელია, მასში მოიძებნება ისეთი ატომები, რომელზეც ჯამური ბრუნვა 360^0–ის, ანუ სრული შემობრუნების ჯერადი აღმოჩნდება. *ჯაჭვის ნაწილს, რომელშიც ატომების ჯამური ბრუნვის შედეგად სრულდება სრული ბრუნვა, სეგმენტი ეწოდება. რაც მცირეა სეგმენტის სიგრძე, მით მეტია ჯაჭვის მოქნილობა. ცხადია, ტემპერატურის შემცირება ამცირებს მოლეკულის მოქნილობას.* თუ ბრუნვისას მმნ-ს მოლეკულა იღებს სხვადასხვა წონასწორულ მდგომარეობას, მაშინ ცალკეული ასეთი მდგომარეობა პოლიმერის ცალკეულ *კონფორმაციას* შეესაბამება. *კონფორმაცია ეწოდება მოლეკულების ენერგეტიკულად არატოლფას ფორმებს, რომლებიც წარმო-*

იქმნება რგოლების უბრალო ბრუნვით ქიმიური კავშირების გაწყვეტის გარეშე. კონფორმაციის დროს მაკრომოლეკულები შეიძლება შეიკრას გლობულების ან მორგვების სახით ან გაიშალოს და დაწყოს ორიენტირებულ სტრუქტურებში – დასტებად (შეკვრებად).

მაკრომოლეკულის მოქნილობა მის ქიმიურ ბუნებაზე, სტრუქტურულ განშტოებაზე, გამხსნელის ბუნებაზე და პოლარული ჯგუფების რიცხვზეა დამოკიდებული. განხილული თავისებურებები საშუალებას იძლევა დავადგინოთ კავშირი შედგენილობასა და თვისებას შორის. პოლიმერის მაღალი მოქნილობის გამო შესაძლებელია ადვილად გავწელოთ ჯაჭვი მცირედი გარეგანი ზემოქმედებით, რომლის მოხსნის შემდეგ სისტემა ბრუნდება საწყის – დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე. მაშასადამე, მაღალი ელასტიკურობის (თვისების) მიზეზია ჯაჭვის დიდი მოქნილობა (აგებულების თავისებურება). აგებულებასა და თვისებას შორის კავშირის ნათელსაყოფად საჭიროა პოლიმერის ფაზური და ფიზიკური მდგომარეობის შესწავლა.

მრავალრიცხოვანი გამოკვლევებით დამტკიცდა, რომ მაღალმოლეკულური ნივთიერებები შეიძლება იყოს მყარ (კრისტალურ) და თხევად (ამორფულ) მდგომარეობაში. ოთახის ტემპერატურაზე ამორფული, თხევადი სტრუქტურა აქვს ისეთ პოლიმერებს, როგორიცაა მაგალითად, ცელულოზის ეთერები, ნატურალური და უმეტესი სინთეზური კაუჩუკები, პოლი-იზო-ბუთილენი და სხვა. ამავე პირობებში კრისტალურ პოლიმერებს წარმოადგენს პოლიამიდი და პოლიეთილენი.

8.1. მაღალმოლეკულური ნივთიერებების ხსნარები

გასული საუკუნის დასაწყისში არსებობდა პოლიმერთა ხსნარების ორი თეორია:

1) *მაიერისა* და *მარკის* მიერ განვითარებული *მიცელარული თეორია,* რომლის თანახმად ხსნარში მაკრომოლეკულები მიცელების სახით იმყოფება. დღეისათვის მიცელარულმა თეორიამ აზრი დაკარგა.
2) მოლეკულური თეორიის თანახმად, მმნ-ს საკმაოდ განზავებული ხსნარები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელ ცალკეულ მოლეკულებს შეიცავს.

გამოკვლევემა ცხადყო, რომ შესაფერის გამხსნელებში მმნ თავისთავად იშლება ცალკეულ მოლეკულებად. ტიპიური ზოლებისა და მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების მსგავსება ემყარება იმ საფუძველს, რომ ორივე შემთხვევაში ხსნარი შეიცავს შედარებით დიდი ზომის ნაწილაკებს, პირველ შემთხვევაში *მიცელებს,* მეორეში კი *მაკრომოლეკულებს,* რომლებიც შეიძლება ხსნარში სოლვატირებულ მდგომარეობაში იყოს.

მოლეკულური თეორიის მართებულობა მრავალი ცდითა და ფაქტით დასტურდება:

1) სინათლის განბნევის მეთოდით მოლეკულური წონის განსაზღვრის საფუძველზე, პოლიმერების განზავებულ ხსნარებში ერთმნიშვნელოვნად დადასტურდა ის ფაქტი, რომ ხსნარებში მიცელები არ არსებობს;
2) მაღალ და დაბალმოლეკულური ნივთიერებების გახსნა თავისთავად, ხშირად სითბოს გამოყოფით მიმდინარეობს;
3) მმნ-ს ხსნარები თერმოდინამიკურად მდგრადი სისტემებია და შესაფერის პირობებში შეიძლება წლების განმავლობაში არსებობდეს მაშინ, როდესაც კოლოიდური სისტემა შეიძლება დაბერდეს, ანუ ის თერმოდინამიკურად არამდგრადია. ეს იმით აიხსნება, რომ პოლიმერის გახსნისას ყოველთვის მიიღება ჰომოგენური სისტემა, რომლის დროსაც ხდება თავისუფალი ენერგიის შემცირება პოლიმერისა და

გამხსნელის მოლეკულების ურთიერთქმედების შედეგად სითბოს გამოყოფის, ან კიდევ, გახსნის პროცესში ენტროპიის ზრდის გამო.

დისპერსიული ფაზის ხვედრითი ზედაპირის გაზრდის გამო ჰეტეროგენული, კოლოიდური სისტემის მიღება კი თავისუფალი ენერგიის ზრდით მიმდინარეობს. გარდა ამისა, *მაღალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარის მისაღებად საჭირო არაა სტაბილიზატორის გამოყენება, ავრეგატულად მდგრადი ლიოფობური ზოლის მიღება კი სტაბილიზატორის გარეშე შეუძლებელია.* და ბოლოს, მმნ-ს ხსნარი იმყოფება თერმოდინამიკურ წონასწორობაში და წარმოადგენს შექცევად სისტემას, რომლისთვისაც მართებულია ჯიბსის ფაზათა წესი, რომელიც კოლოიდური სისტემისათვის მიუღებელია.

ყველაფერი ზემოთ თქმული მართებულია განზავებული ხსნარებისათვის, რომლებშიც მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედებას არა აქვს ადგილი. კონცენტრირებულ ხსნარებში კი, სადაც მოლეკულათა დაჯახების ალბათობა ბევრად უფრო დიდია, მაკრომოლეკულების ურთიერთქმედებით შეიძლება დაიწყოს ე.წ. *ასოციატების* წარმოქმნა, რომლებიც მოლეკულათა მცირე რიცხვს შეიცავს, ხანგრძლივად ვერ არსებობს და, ამდენად, ისინი არ შეიძლება ცალკე ფაზად ჩაითვალოს. გარდა ამისა, მიცელებისაგან განსხვავებით ასოციატები მუდმივად არ არსებობს, ისინი ერთ ადგილზე წარმოიქმნება, შემდეგ დაიშლება და სხვა ადგილზე კვლავ წარმოიქმნება. ამის გამო *განზავებულ მმნ-ს ხსნარებში ასოციატებს მუდმივი შედგენილობა არ გააჩნია.*

გამხსნელის ბუნებაზე დამოკიდებულებით ასოციატში მაკრომოლეკულებს შორის კავშირები შეიძლება წარმოიქმნას ისევე, როგორც დაბალმოლეკულური ნივთიერებების ხსნარებში: წყალბადური ბმის, მოლეკულათშორისი

ურთიერთქმედების და ელექტროსტატიკური ძალების გზით. *ასოციატების წარმოქმნაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ტემპერატურა, რომლის ზრდა ასოციატის დაშლას იწვევს, შემცირება კი პირიქით, ხელს უწყობს ასოციატების წარმოქმნის პროცესს.*

პოლიმერის ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით ან ტემპერატურის შემცირებით ასოციატის ზომა და მისი არსებობის ხანგრძლივობა იზრდება. შესაფერის პირობებში მათი ზომა იმდენად დიდი შეიძლება გახდეს, რომ შეასრულოს ახალი ფაზის ფუნქცია. ახალი ფაზის წარმოქმნისას სისტემა იძენს განშრევების უნარს, რომელიც ახლადწარმოქმნილი ფაზის წვეთების სახით გამოყოფაში – კოასერვაციაში გამოვლინდება. *მაკრომოლეკულების დიდი სიგრძისა და მოქნილობის, აგრეთვე მათი სხვადასხვა ასოციატში შესვლის შესაძლებლობის გამო, ასოციაციის პროცესს შეიძლება მოჰყვეს სისტემაში სივრცითი სტრუქტურული ბადის წარმოქმნა, რის შედეგად ადგილი ექნება ხსნარის გალაბებას.*

XX საუკუნის დასაწყისში *ფრეინდლიხის* მიერ დამტკიცებული იქნა სტრუქტურული ბადის არსებობა, რომელიც იწვევს მათ ელასტიკურობას შედარებით განზავებულ ხსნარებშიც. *გალაბებული ხსნარი დროის განმავლობაში განიცდის სინერეზისს - იყოფა ორ ფაზად: მმნ-ს ხსნარი გამხსნელში და გამხსნელის ხსნარი მმნ-ში. მაშასადამე, ასოციატი სხვა არაფერია, თუ არა ახალი ფაზის ჩანასახი.*

8.2. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების თერმოდინამიკა

მაღალმოლეკულური ნივთიერების გახსნა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორი სითხის შერევის პროცესი.

ანალოგია ამ ორ მოვლენას შორის არ არის ფორმალური, არამედ გამოსახავს თვით ამ მოვლენის არსს. მაგალითად, მმნ-ს შეზღუდული გაჯირჯვება შეზღუდული შერევის პროცესს შეესაბამება, ხოლო შეუზღუდავი გაჯირჯვება, რომელიც გახსნაში გადადის – შეუზღუდავი შერევის პროცესს. ეს შეხედულება გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების მოლეკულების ენერგეტიკულ ურთიერთქმედებასთან ერთად ენტროპიულ ფაქტორსაც ითვალისწინებს.

მუდმივი წნევის პირობებში მაღალმოლეკულური ნივთიერების თავისთავადი გახსნა სისტემის იზობარული პოტენციალის (ჯიბსის თავისუფალი ენერგია) შემცირებით მიმდინარეობს, რომლის ცვლილება შეიძლება თერმოდინამიკის მეორე კანონის თანახმად გამოვითვალოთ :

= - თ შ

(8.1)

როდესაც სისტემის მოცულობა უცვლელია, რაც გახსნის პროცესისათვის საკმაო მიახლოებით შეიძლება ჩაითვალოს, მაშინ

= - თ შ

(8.2)

ე.ი. მმნ თავისთავადი გახსნისას < 0 და < 0. ეს შესაძლებელია ორ შემთხვევაში:

1) როდესაც < 0 (< 0). ეს პირობა სრულდება მაშინ, თუ გახსნისას ადგილი აქვს სითბოს გამოყოფას. ეგზოთერმული პროცესისათვის ჯ = - და გ = - , სადაც ჯ და გ გახსნის ინტეგრალური სითბოებია შესაბამისად წნევისა და მოცულობის მუდმივობის დროს. ასეთ შემთხვევებს ადგილი აქვს პოლარული მმნ-ს გახსნისას პოლარულ გამხსნელში, როდესაც მაკრომოლეკულის სოლვატაციის სითბო მეტია საკუთრივ გახსნის სითბოზე. გახსნის

სითბური ეფექტი კი, როგორც ვიცით, ამ ორი სითბოს ალგებრული ჯამის ტოლია.

2) როდესაც შ > 0. ეს პირობა ყოველთვის სრულდება გხსნისას, რადგან შერევის ენტროპია ყოველთვის დადებითია. მაღალმოლეკულური ნივთიერების შერევის ენტროპიის მნიშვნელობა დაბალმოლეკულური ნივთიერების გახსნისა და კოლოიდური სისტემის ენტროპიის მნიშვნელობებს შორის მდებარეობს.

განსახილველ შემთხვევში ენტროპიული წევრი არ უდრის ნულს, არამედ შეიძლება საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა ჰქონდეს. აქედან გამომდინარე, ზოგიერთი პოლიმერი შეილება გაიხსნას სითბოს შთანთქმით. ე.ი. >0 (>0).ეს იმითაა განპირობებული, რომ თ შ > (თ შ >). შესაბამისად, < 0 და < 0.

სტატისტიკური ფიზიკის თანახმად, მმნ გახსნისას ენტროპიის ზრდა იმით აიხსნება, რომ ხსნარში მაკრომო-ლეკულები შესაძლებელია სხვადასხვა სახით იყოს განლაგებული და თითოეულმა მათგანმა კონფორმაციის მრავალი რიცხვი განახორციელოს. ხსნარის განზავებისას მაკრომოლეკულების ერთმანეთისაგან დაშორების გამო ეს შესაძლებლობა იზრდება და ზღვრულ განზავებაზე მათ შეუძლიათ ნებისმიერი კონფორმაცია მიიღონ. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ნაკლებ ბლანტ ხსნარში მაკრომოლეკულის თერმოდინამიკური ალბათობა მეტია, ვიდრე საწყის პოლიმერში.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მმნ გახსნისათვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს ერთი პირობის დაცვას – სისტემის იზობარული პოტენციალის შემცირებას. ამიტომ გახსნა შეიძლება მოხდეს მაშინაც, როდესაც სითბური ეფექტი უარყოფითია, მაგრამ სისტემის ენტროპია იმდენად იზრდება, რომ ჯამში იზობარული პოტენციალის შემცირებას განაპირობებს. ტემპერატურის გაზრდით ენტროპიული

ფაქტორის მნიშვნელობა იზრდება და ყოველი პოლიმერისა და გამხსნელისთვის უნდა არსებობდეს გახსნის კრიტიკული ტემპერატურა თკრ, რომლის ზევითაც შერევა ნებისმიერი შეფარდებით მოხდება. თეორიულად ეს ტემპერატურა შესაძლებელია არსებობდეს პოლიმერისა და გამხსნელის ნებისმიერი კომბინაციისათვის, პრაქტიკულად კი, გამხსნელის დუღილისა და პოლიმერის დესტრუქციის დაბალი ტემპერატურის გამო, ხშირ შემხვევაში ეს შეუძლებელია. შერევის კრიტიკული ტემპერატურა ადვილად შეიძლება განისაზღვროს პირობიდან:

$$- \text{თ}_{\text{კრ}} \text{შ} = 0$$

ან

$$= \text{თ}_{\text{კრ}} \text{შ}$$

საიდანაც

$$\text{თ}_{\text{კრ}} = \frac{\Delta H}{\Delta S} \qquad (8.3)$$

სადაც და შ გახსნის დროს ენთალპიისა და ენტროპიის ცვლილებაა.

უკანასკნელი წლების გამოკვლევებმა დაადასტურა, რომ ზოგჯერ პოლიმერის გახსნისას ენტროპიული ფაქტორი შერევის ენტროპიის ანომალური მნიშვნელობის გამო ძირითად როლს თამაშობს.

8.3. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა გაჯირჯვება

მაღალმოლეკულური ნივთიერების ურთიერთქმედებით გამხსნელთან ხდება პოლიმერის მოცულობისა და მასის ზრდა დროში. ამ პროცესს გაჯირჯვება ეწოდება. მის საზომად გამოიყენება გაჯირჯვების ხარისხი , რომელსაც საზღვრავენ გრავიმეტრული მეთოდით - წონიან ნიმუშს გაჯირჯვებამდე, მის შემდეგ და გამოთვლიან ფორმულით :

$$-м_0)/м_0 \qquad (8.4)$$

სადაც $м_0$ პოლიმერის საწყისი მასაა, м კი – გაჯირჯვების შემდეგ. გაჯირჯვების ხარისხს მოცულობითი მეთოდითაც საზღვრავენ; გაზომავენ რა ნიმუშის მოცულობას გაჯირჯვებამდე და მის შემდეგ, გაჯირჯვების ხარისხს გამოთვლიან ფორმულით:

$$з \qquad -V_0)/V_0$$

გაჯირჯვება არის განსაზღვრული და განუსაზღვრელი. პირველ შემთხვევაში აღწევს მუდმივ, ზღვრულ მნიშვნელობას. მაგალითად, ჟელატინის ცივ წყალში გაჯირჯვებისას ოთახის ტემპერატურაზე. მეორე შემთხვევაში მნიშვნელობა აღწევს მაქსიმუმს და შემდეგ პოლიმერი ნელ-ნელა იხსნება. მაგალითად, ჯელატინი ცხელ წყალში. ამ შემთხვევაში გაჯირჯვება გახსნის საწყის სტადიას წარმოადგენს.

გაჯირჯვების მიზეზი მმნ და გამხსნელის განსხვავებული თვისებებია. ამ კომპონენტების ძლიერი ურთიერთქმედება ყოველთვის იწვევს მათ თანდათანობით შერევას და ფაზათა გამყოფი საზღვრის წაშლას. პროცესის სიჩქარეს განსაზღვრავს მოლეკულების ძვრადობა, მათი დიფუზიის კოეფიციენტი. გაჯირჯვების სპეციფიკა იმაში მდგომარეობს, რომ ხდება რამდენიმე რიგით განსხვავებული ზომისა და ძვრადობის მოლეკულების ურთიერთქმედება და ურთიერთშერევა. ამიტომ მაკრომოლეკულების გადასვლა გამხსნელში ძალიან ნელა მიმდინარეობს, მაშინ როდესაც დაბალმოლეკულური გამხსნელის მოლეკულები სწრაფად აღწევენ პოლიმერის ბადეში, გაწევ-გამოწევენ ჯაჭვს და ადიდებენ მის მოცულობას. პოლიმერის ბადეში პატარა ზომის მოლეკულების შეღწევას ხელს უწყობს ჯაჭვის მოქნილობა. ამრიგად, გაჯირჯვება ცალმხრივი შერევაა,

რომელიც მოლეკულების ზომებს შორის დიდი განსხვავებითაა გამოწვეული.

გაჯირჯვების კინეტიკა აღიწერება პირველი რიგის არაშექცევადი რეაქციების კინეტიკური განტოლების მსგავსი განტოლებით:

$$ჭვ = \frac{dV_t}{dt} = \quad (V - V_ტ) \qquad (8.5)$$

სადაც ჭვ გაჯირჯვების სიჩქარეა; $V_ტ$ – ნიმუშის მოცულობა ტ მომენტში; V - გაჯირჯვებული ნიმუშის ზღვრული (მაქსიმალური) მოცულობა; – მუდმივა, რომელიც დამოკიდებულია პოლიმერისა და გამხსნელის ბუნებაზე და ნიმუშის გეომეტრიულ ზომებზე. გაჯირჯვების კინეტიკა გაჯირჯვების ხარისხის ცვლილების სიჩქარითაც შეიძლება დავახასიათოთ.

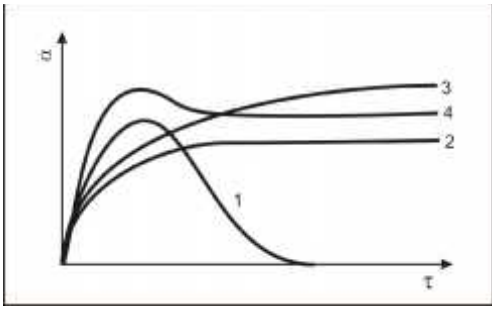
$$ჭ = \frac{dV_t}{dt} = (- ტ) \qquad (8.6)$$

სადაც ტ გაჯირჯვების ხარისხია ტ მომენტში, - გაჯირჯვების წონასწორული ხარისხი. შედარებით მცირე ან გლობულისებრი აგებულების მოლეკულების მქონე პოლიმერები გაჯირჯვების გარეშე იხსნება.

გარკვეული დროის მონაკვეთებში გაჯირჯვების ხარისხის განსაზღვრის შემდეგ, შეიძლება მივიღოთ გაჯირჯვების პროცესის დამახასიათებელი კინეტიკური მრუდები.

გაჯირჯვების პროცესის შეზღუდულობა და თავისთავადი გახსნის შესაძლებლობა, ისე როგორც თავისთავადი დისპერგირების პროცესი, დამოკიდებულია პოლიმერის გისოსის ენერგიისა და სოლვატაციის ენერგიის თანაფარდობაზე ენტროპიული ფაქტორის

გათვალისწინებით. გაჯირჯვების მიზეზია მაღალმოლეკულური ნივთიერების სტრუქტურულ სიცარიელეებში გამხსნელის მოლეკულების არა მექანიკური შეღწევა, არამედ მოლეკულათშორისი ურთიერთქმედება, რომელიც ძირითადად მაკრომოლეკულების სოლვატაციითაა გამოწვეული. ამ პროცესის კოლოიდურ-ქიმიურ ბუნებას ადასტურებს სითბოს გამოყოფა და სისტემის საერთო მოცულობის შემცირება– კონტრაქცია, რომელიც აიხსნება გამხსნელის მოლეკულების ორიენტაციით მაკრომოლეკულებზე მათი ადსორბციისას, რაც იწვევს სიმკვრივის გაზრდას. გაჯირჯვება ყოველთვის სპეციფიკური პროცესია. იგი მიმდინარეობს არა ყველა, არამედ "კარგ" გამხსნელში, რომელთანაც პოლიმერი ურთიერთქმედებს. ეს ურთიერთქმედება დაკავშირებულია პოლარობასთან. პოლარული პოლიმერი ჯირჯვდება პოლარულ გამხსნელში (ცილა წყალში), არაპოლარული არაპოლარულრში (კაუჩუკი ბენზოლში).



ნახ. 8.1. გაჯირჯვების კინეტიკური მრუდების ტიპები:
1 – შეუზღუდავი გაჯირჯვება;
2 – ჩქარი გაჯირჯვება ზღვრული გაჯირჯვების მცირე მნიშვნელობით;
3 – ნელი გაჯირჯვება ზღვრული გაჯირჯვების დიდი მნიშვნელობით;
4–შეზღუდული გაჯირჯვება დაბალმოლეკულური ფრაქციის ექსტრაგირებით.

პოლიმერში პოლარული ჯგუფის შეყვანა არაპოლარულ სითხეებში -ს ამცირებს, პოლარულ სითხეებში კი უმეტეს შემთხვევაში ზრდის.

გაჯირჯვების პროცესი მიმდინარეობს ორ სტადიად: პირველი სტადია მიმდინარეობს სითბოს ( ) გამოყოფით სისტემის კონტრაქციის თანხლებისას და ხასიათდება -ს მცირე მნიშვნელობით. ემპირიული დამოკიდებულება -სა და -ს შორის ასე გამისახება:

=ა ბ+ (8.7)

სადაც ა და ბ მუდმივებია.

არსებობს გაჯირჯვების ინტეგრალური და დიფერენციალური სითბო. გაჯირჯვების ინტეგრალური სითბო (ქ$_{ინტ}$) ეწოდება ერთი გრამი მშრალი პოლიმერის გაჯირჯვებისას გამოყოფილ სითბოს საერთო

რაოდენობას. გაჯირჯვების დიფერენციალური სითბო (ქდიფ) ეწოდება სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გამოიყოფა ერთი გრამი სითხის შთანთქმისას მშრალი ან უკვე გაჯირჯვებული მაღალმოლეკულური ნივთიერებით. გაჯირჯვების ინტეგრალური სითბო შეიძლება გამოვსახოთ განტოლებით:

ქინტ=ი/ ბ+ი (8.8)

სადაც, ი გაწყლიანების ხარისხია, ა და ბ კი მუდმივები.

გაჯირჯვების დიფერენციალური სითბო ქდიფ= /დმ გაჯირჯვების პროცესში მცირდება, რამდენადაც თავიდან სოლვატაცია უფრო მეტად აქტიურ უბნებზე ხდება, შემდეგ კი გამხსნელის მოლეკულების პოლიმერთან ურთიერთქმედების მოლური ენერგია თანდათან მცირდება. მეორე სტადიაზე კონტრაქცია და სითბოს გამოყოფა მთლიანად წყდება (ზოგჯერ ქდიფ<0), მაგრამ სწორედ ამ სტადიაზე ხდება ძირითადად პოლიმერის მასისა და მოცულობის ზრდა. პირველ სტადიაზე მიმდინარეობს სპეციფიკური ურთიერთქმედება მაღალმოლეკულურ ნივთიერებასა და გამხსნელს შორის (სოლვატაცია); ამასთანავე გამოიყოფა სითბო, ე.ი. <0, ხოლო შ 0 ან შ < 0. მაგრამ > თ შ და < 0. მეორე სტადიაზე სითბო თითქმის არ გამოიყოფა (<0), სამაგიეროდ იზრდება ენტროპია, რადგან ჯაჭვის დაფაშარება და მასთან დაკავშირებული მაკრომოლეკულების ნაწილობრივი განთავისუფლება კომფორმაციის რიცხვს ზრდის. თ შ > 0, - შ<0. ე.ი. გაჯირჯვების მეორე სტადია განპირობებულია ენტროპიული ფაქტორით. რაც აიხსნება შესაძლო კომფორმაციების რიცხვის ზრდით.

შეზღუდულად გაჯირჯვებულ პოლიმერს ლაბა ეწოდება. ლაბა თვისებებით გელის მსგავსია; მისგან იმით განსხვავდება, რომ სივრცითი სტრუქტურული ბადის კვეთას

მოლეკულური ზომები აქვს. ეს სტრუქტურები წარმოიქმნება არა ვან-დერ-ვაალსის, არამედ ქიმიური ძალებით ან წყალბადური კავშირებით. *ე.ი. გელებისგან განსხვავებით ლაბები ჰომოგენური სისტემებია.*

კავშირების განსხვავებული ბუნება განსაზღვრავს ლაბების სტრუქტურულ-მექანიკურ თვისებებს. მათ ტიქსოტროპიის უნარი არ გააჩნია. ჰიდრატული გარსი, რომელიც გარს აკრავს პოლარულ ჯგუფებს წარმოქმნის დრეკად წყლის ბადეს. სითხეს, რომელიც ავსებს ლაბის ბადეს ეწოდება ინტერმიცელარული. ის პირობითად შეიძლება გავყოთ ორ ნაწილად: "თავისუფალი" და "ბმული", რომელიც შედის სოლვიტური გარსის შედგენილობაში.

ბმული წყალი ხასიათდება განსაკუთრებული თვისებებით: დიდი სიმკვრივე, გაყინვის დაბალი ტემპერატურა (-15 ºჩ-მდე), გახსნის უნარის დაკარგვა და ა.შ. გელების და ლაბების ბმული წყალი დიდ როლს თამაშობს ჩვენს ცხოვრებაში. მისი არსებობა ნიადაგში, მცენარეებში, ყველა ცოცხალ ორგანიზმში უზრუნველყოფს ყინვაგამძლეობას. ადამიანის ორგანიზმში ბმული წყლის წილი ახალშობილში "70%, სიბერეში 40%-მდეა.

ლაბის დაბერება, ისე როგორც გელის, ვლინდება სინერეზისში. ამის თვალსაჩინო მაგალითია შრატის გამოყოფა (რძის აჭრა, ცვარი ყველში და ა.შ.). ამ პროცესში გამოიწურება ჯერ თავისუფალი, შემდეგ კი - ბმული წყალი. განუსაზღვრელი გაჯირჯვებისას ლაბის წარმოქმნას პოლიმერის გახსნამდე, მაღალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარის წარმოქმნამდე მივყავართ.

8.4. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების თვისებები

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარებში შერწყმულია დაბალმოლეკულური ჭეშმარიტი ხსნარებისა და მაღალდისპერსიული ჰეტეროგენული - კოლოიდური სისტემების თვისებები. ჭეშმარიტი განზავებული ხსნარები ემორჩილება რაულის კანონს, რომლის თანახმად არააქროლადი გახსნილი ნივთიერების შემთხვევაში:

$$_1/\ _1^0 = \ _1 = 1 - \ _2$$

სადაც $_1$ გამხსნელის ორთქლის წნევაა ხსნარზე; $_1^0$ - წნევა სუფთა გამხსნელზე; $_1$ და $_2$ შესაბამისად გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების მოლური წილები. რაულის კანონის გამოყენებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნას გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური წონა ექსპერიმენტულად განსაზღვრული $P_1/P_1^0 = \ _1$-ის საფუძველზე, რადგან

$$P_1/P_1^0 = ნ_1/ნ_1 + ნ_2 \qquad \text{სადაც} \quad ნ_1 = მ_1/\ _1; \quad ნ_2 = მ_2/\ _2$$

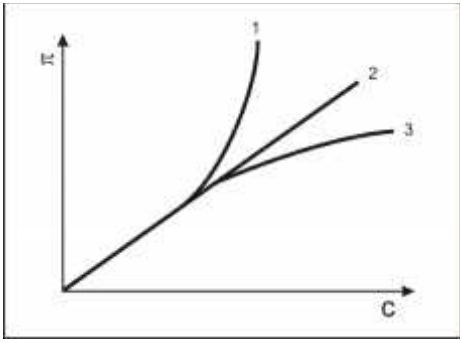
$ნ_1$ და $ნ_2$ გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების მოლთა რაოდენობაა იდეალურ ხსნარში; $მ_1$ და $მ_2$ შესაბამისად მათი მასები; $_1$ და $_2$ - მოლეკულური წონები. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარებში P_1/P_1^0 არ არის ტოლი $_1$-ის, ამიტომ ეს მეთოდი პოლიმერის მოლეკულური წონის განსაზღვრისათვის არ გამოდგება. რამდენადაც გახსნილი მაღალმოლეკულური ნივთიერების მოლური წილი მისი უზარმაზარი მოლეკულური წონის გამო ჩვეულებრივ საკმაოდ მცირეა, ამდენად ხსნარზე გამხსნელის ორთქლის წნევის ფარდობითი დაწევა კონცენტრირებულ ხსნარშიც კი

ძალიან მცირეა და მისი ექსპერიმენტული განსაზღვრა ძნელია. მაგრამ თუ დავუშვებთ, რომ მმნ ხსნარები ისე იქცევიან, როგორც იდეალური ხსნარები და განვსაზღვრავთ P_1/P_1^0 ცდით, შეიძლება გამოვთვალოთ მმნ მოჩვენებითი მოლეკულური წონა, ანუ სიდიდე, რომელიც პოლიმერის მასის ეკვივალენტურია, თუ იგი მოცემულ გამხსნელში იდეალურ ხსნარს იძლევა. პრაქტიკაში მაღალმოლეკულური ნივთიერების მოლეკულურ წონას ხსნარის ოსმოსური წნევის გაზომვით გამოთვლილი მოლური წილის მნიშვნელობით საზღვრავენ.

დაბალმოლეკულური ნივთიერების განზავებული ხსნარის ოსმოსური წნევა *ვანტ-ჰოფის კანონის* თანახმად, ტოლია:

$$_{\text{ოსმ}} = \frac{\text{c}}{\text{M}} \text{ღთ} = \text{ნღთ}$$

სადაც c გახსნილი ნივთიერების წონითი კონცენტრაციაა; - მოლეკულური მასა; n - მისი მოლების რიცხვი; ρ - აირების უნივერსალური მუდმივა; T - აბსოლუტური ტემპერატურა. მაღალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარებისათვის ამ სახით ვანტ-ჰოფის კანონი არ გამოდგება. ცდით დადასტურდა, რომ პოლიმერების ხსნარებში ოსმოსური წნევა გაცილებით დიდია, ვიდრე ეს *ვანტ-ჰოფის კანონიდან* გამომდინარეობს, რადგან მმნ ხსნარში მაკრომოლეკულა დიდი მოქნილობის გამო ისე იქცევა, როგორც რამდენიმე უფრო მოკლე მოლეკულა, ანუ კინეტიკური ერთეული ხსნარში არის არა მაკრო მოლეკულა, არამედ მისი სეგმენტი. ამასთანავე, რაც უფრო მოქნილია მაკრომოლეკულა, დანარჩენ ერთნაირ პირობებში, მით მეტია $\pi_{осм}$ და მით მეტად განსხვავდება იგი ვანტ-ჰოფის ფორმულიდან გამოთვლილი მნიშვნელობისაგან. ამასთანავე, ოსმოსური წნევა კონცენტრაციის გაზრდით მმნ ხსნარებში იზრდება



ნახ. 8.2. ოსმოსური წნევის დამოკიდებულება ხსნარის კონცენტრაციისაგან

I – მაღალმოლეკულური ნივთიერება

II – დაბალმოლეკულური ნივთიერება (შაქარი)

III – სუსტი ელექტროლიტი.

არა წრფივად (მრუდი 1) იმ დროს, როდესაც ეს დამოკიდებულება ჭეშმარიტ ხსნარებში, *ვანტ-ჰოფის კანონის* თანახმად, არის წრფივი (მრუდი 2) ნახ. 8.2.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, მაღალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარში კონცენტრაციის გაზრდით ოსმოსური წნევა იზრდება უფრო ჩქარა, ვიდრე შაქრის ხსნარში. ეს გამოწვეულია იმით, რომ კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება სეგმენტების რიცხვი, რომლებადაც მმნ მოქნილი მოლეკულები იშლება. ოსმოსურ წნევასა და პოლიმერის ხსნარის კონცენტრაციას შორის, ამ უკანასკნელის ფართო ინტერვალში, შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\text{ოსმ} = \frac{C}{M}\text{ღთ}+\text{ბც}^2 \quad (8.9)$$

სადაც ბ-ს მნიშვნელობა დამოკიდებულია პოლიმერის მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედებაზე. ც-ს მცირე მნიშვნელობისთვის 8.9 განტოლების ბოლო წევრის სიდიდე ნულს უახლოვდება და განტოლება ვანტ-ჰოფის განტოლების სახეს იღებს.

(8.9) განტოლება შეიძლება შემეგნაირად ჩაიწეროს:

$$\frac{P}{C} = \frac{RT}{M}+\text{ბც} \quad (8.10)$$

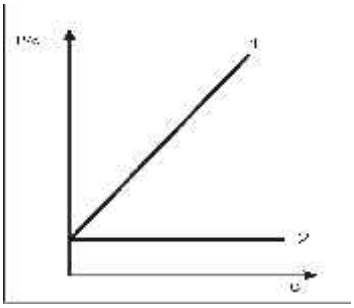
რომელიც წარმოადგენს წრფის განტოლებას. მისი მეშვეობით ადვილად შეიძლება განისაზღვროს პოლიმერის მოლეკულლური წონა. ამ მიზნით სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარისთვის გაზომავენ ოსმოსურ წნევას და აგებენ გრაფიკს /ც – ც კოორდინატებში (ნახ.8.3). მიღებული წრფის ექსტრაპოლაციით ორდინატთა

ღერძზე მოკვეთილი მონაკვეთი ღთ/ –ის ტოლია, ხოლო წრფის მიერ აბსცისთა ღერძთან შედგენილი კუთხის ტანგენსი კი ბ-ს უდრის.

როგორც ნახაზიდან ჩანს ცელულოზის ნიტრატის ხაზოვანი მოლეკულების კონცენტრაციის გაზრდით /ც მნიშვნელობა იზრდება, რაც სეგმენტების ზიცხვის ზრდის შედეგია. ჰემოგლობინის (სფეროსებრი ცილა) მოლეკულებისათვის /ც მნიშვნელობა არ არის დამოკიდებული კონცენტრაციაზე.

განზავებული ხსნარების ოსმოსური წნევის გაზომვით მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა მოლეკულური წონის განსაზღვრის მეთოდი დღეისათვის ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული მეთოდია. პოლიმერების გაწმენდა მინარევებისაგან ადვილია, ამიტომ ამ მეთოდით მიღებული მნიშვნელობები უფრო სარწმუნოა კოლოიდურ სისტემებში ამავე მეთოდით მიღებულ ნაწილაკობრივი წონის მნიშვნელობებთან შედარებით.

პოლიმერების ხსნარები მაკრომოლეკულების დიდი ზომის გამო, კოლოიდური სისტემების მსგავსად, დიფუზიის მცირე უნარით ხასიათდება. მიუხედავად ამისა, დიფუზიის კოეფიციენტის განსაზღვრა ფართოდ



ნახ. 8.3. /ც-ს დამოკიდებულება ხსნარების კონცენტრაციაზე
1 – ნატრიუმიანი ცელულოზის ხსნარი ციკლოჰექსანში;
2 – ჰემოგლობინის წყალხნარი.

გამოიყენება მაღალმოლეკულური ნივთიერებების, მაგალითად, ცილების მოლეკულური წონის განსაზღვრის მიზნით. პოლიმერების მოლეკულური წონის დადგენა დიფუზიური მეთოდით ისევე ხდება, როგორც ნაწილაკობრივი მასის დადგენა კოლოიდურ სისტემებში. პარაქტიკულად უფრო გავრცელებულია ე.წ. ლამის მეთოდი, რომელიც ეყრდნობა სკალის ფოტოგრაფირებას მმნ ხსნარის იმ სვეტში, რომელშიც მიმდინარეობს დიფუზია. კონცენტრაციის განსხვავებული გრადიენტი იწვევს განსხვავებას გარდატეხის მაჩვენებლებს შორის, ამის გამო სუფთა გამხსნელსა და ხსნარში გადაღებულ ფოტოსურათებზე მანძილი სკალის დანაყოფებს შორის განსხვავებულია. სითხის მთელ სვეტში დიფუზიის სხვადასხვა ხანგრძლივობისას, დროის გარკვეულ ინტერვალში ამ მანძილთა შეფარდების გაზომვა კონცენტრაციის გრადიენტის განაწილების მიღების საშუალებას იძლევა. ამ მონაცემებით კი შეიძლება დიფუზიის კოეფიციენტის განსაზვრა.

დიფუზიის კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობის მიუხედავად, მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარები მაღალი სედიმენტაციური მდგრადობით ხასიათდება, რაც ძირითადად გახსნილი ნივთიერების მცირე სიმკვრივითაა განპირობებული. ამიტომ მმნ მოლეკულური წონის განსაზღვრა სედიმენტაციური მეთოდით მხოლოდ მძლავრი ცენტრიფუგების გამოყენებით არის შესაძლებელი.

პოლიმერების ხსნარები კოლოიდურ ხსნარებთან შედარებით სინათლის განბნევის მცირე უნარით ხასიათდება. სინათლის გაბნევას კონცენტრირებულ მმნ ხსნარებში განაპირობებს მათი არაერთგვაროვნება, რომელიც გამოწვეულია კონცენტრაციის განუწყვეტელი გადახრით საშუალო მნიშვნელობიდან და, შესაბამისად, გარდატეხის მაჩვენებლის ფლუქტუაციით.

დებაიმ შეიმუშავა პოლიმერების მოლეკულური წონის განსაზღვრის ოპტიკური მეთოდი, რომელიც ამ ნივთიერებათა განზავებული ხსნარების სიმღვრივის – ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვას ეყრდნობა.

ულტრამიკროსკოპული მეთოდით ხსნარში პოლიმერის ჯაჭვური მოლეკულების აღმოჩენა შეუძლებელია, რადგან ეს ხსნარები ჰომოგენურია და ხაზოვანი მაკრომოლეკულები კოლოიდურ ნაწილაკებს მხოლოდ სიგრძით უახლოვდება, დანარჩენი ორი მიმართულებით კი ჩვეულებრივი მოლეკულების ზომებს შეესაბამება. გარდა ამისა, მათი აღმოჩენა შეუძლებელია მოლეკულების სოლვატაციისა და იმის გამოც, რომ პოლიმერების გარდატეხის მაჩვენებელი ახლოა გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელთან.

მაკრომოლეკულების მოლეკულური წონის განსაზღვრა ხდება ნეფელომეტრული მეთოდით.

გაზომვას საფუძვლად უდევს *რელეის* განტოლება:

$$I = I_0 \quad ც$$

სადაც პოლიმერის მოლეკულური მასაა; - ავოგადროს რიცხვი; - პოლიმერის სიმკვრივე. საიდანაც გაბნ/$I_{დაც}$-ის გათვალისწინებით შიძლება გამოვიანგარიშოთ მოლეკულური წონა:

$$= \frac{\tau N\rho}{Kc} = \frac{\tau}{Hc} \qquad (8.11)$$

სადაც

$$= \frac{K}{N\rho}$$

სინათლის განბნევა საშუალებას იძლევა შევაფასოთ მაკრომოლეკულების ნაწილაკების ფორმა და კონფორმაცია, თუ მათი ზომები სინათლის ტალღის სიგრძის თანაზომიერია. ნაწილაკების ფორმისა და შორ მანძილზე მათი ურთიერთ-

მედების გამოკვლევისათვის იყენებენ მონოქრომატულ სინათლეს, მაგალითად, ვერცხლისწყლის სანათურს.

8.5. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების სიბლანტე

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების სიბლანტე გაცილებით მეტია იმავე კონცენტრაციის დაბალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარებისა და კოლოიდური სისტემების სიბლანტეზე. *ნიუტონისა* და *პუაზეილის კანონებს* მხოლოდ ძლიერ განზავებული ხსნარები ემორჩილება. ისინი არც *აინშტაინის კანონს* ემორჩილება.

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა დიდი ზომის მოლეკულებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ მათი ხსნარების სიბლანტეში, რომელიც შეიძლება ადვილად გაიზომოს. მრავალი საინტერესო გამოკვლევა პოლიმერების მოლეკულების ზომისა და ფორმის დადგენის მიზნით ჩატარებული იქნა სიბლანტის გაზომვის მეთოდით, რომლის თეორიულ საფუძველს აინშტაინის თეორია წარმოადგენს. გაზომვის შედეგებს ჩვეულებრივ გამოსახავენ პირობითად მიღებული მახასიათებლებით, .მაგალითად, ფარდობითი სიბლანტით - ხსნარისა და გამხსნელის სიბლანტეთა შეფარდებით $_{ფარდ}=$ $_{0}$; კუთრი სიბლანტით $_{კუთრი}$ $_{0}$-1; დაყვანილი სიბლანტით (კუთრი სიბლანტე გადაანგარიშებული კონცენტრაციის ერთეულზე) $_{კუთრი}$ ჩ. უკანასკნელ სიდიდეს ხშირად სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარისთვის ზომავენ და ახდენენ $_{კუთრი}$ ჩ- ჩ-ზე გრაფიკული დამოკიდებულების ექს-ტრაპოლაციას ჩ 0 მნიშვნელობამდე. ამ გზით

მიღებულ სიდიდეს ლიმ(კუთრი ჩ) = [ ]*მახასიათებელი სიბლანტე* ეწოდება.

პოლიმერების ხსნარების დიდი სიბლანტე გამოწვეულია გაწელილი და მოქნილი მაკრომოლეკულების ასოციატებისა და ადვილად დაშლადი სტრუქტურის შემცველი სისტემის ჰიდროდინამიკური თვისებებით. ძლიერ განზავებულ ხსნარებში, რომლებიც ხისტ, ჩხირისმაგვარ მაკრომოლეკულებს შეიცავს, მოლეკულათა შორის ურთიერთქმედებას ადგილი არ აქვს და, შტაუდინგერის თანახმად, მათი კუთრი სიბლანტე მოლეკულური წონისა და კონცენტრაციის პირდაპირპროპორციულია:

$$\text{კუთრი} = \text{ჩ} \quad (8.12)$$

ან

$$\text{კუთრი} / \text{ჩ} = \quad (8.13)$$

სადაც პოლიმერჰომოლოგიური მწკრივისათვის დამახასიათებელი მუდმივაა მოცემულ გამხსნელში. მის მნიშვნელობას საზღვრავენ მწკრივის დაბალი წევრებისათვის კრიოსკოპული მეთოდით მოლეკულური წონისა და მათი ხსნარების კუთრი-ის გაზომვის საფუძველზე. მაგალითად, პარაფინების მწკრივისთვის ოთხქლორიან ნახშირბადში =1,07*10^{-4}, პოლისტიროლების მწკრივისათვის იგივე გამხსნელში = 2,4*10^{-4} და ა.შ, - გახსნილი პოლიმერის მოლეკულური წონა; ჩ - ხსნარის კონცენტრაცია გამოსახული "ძირითადი მოლი"/ლიტრი. "ძირითადი მოლი" გრამების ის რიცხვია, რომელიც პოლიმერწარმომქმნელი მონომერის მოლეკულური წონის ტოლია.

შტაუდინგერის ფორმულის მეშვეობით ადვილად შეიძლება განისაზღვროს მოლეკულური წონა შედარებით მოკლე ჯაჭვის მქონე ხისტი პოლიმერებისათვის.

მოლეკულური წონების ფართო დიაპაზონში, ან გამხსნელის შეცვლისას -ს მნიშვნელობა იცვლება.

ჯაჭვის სიგრძის გაზრდით მოლეკულების მორგვებად შეკვრა ამცირებს მის წინააღმდეგობას დინების მიმართ, რის შედეგადაც ადგილი აქვს მოლეკულურ წონაზე სიბლანტის პირდაპირპროპორცი- ული დამოკიდებულებიდან გადახრას. ზოგიერთი პოლიმერის ხსნარში მოლეკულებს მუდმივად ცვლადი კონფიგურაცია აქვს, ან, სხვა შემთხვევაში, მოლეკულები ნაკლებ ელასტიკურია. შტაუდინგერის განზოგადებული განტოლება, რომელიც ითვალისწინებს პოლიმერის ჯაჭვის ზრდის მიხედვით -ს ცვლილებასა და მაკრომოლეკულებს შორის ურთიერთქმედებას განზავებულ ხსნარებშიც კი, ასე გამოისახება:

$$[\ ] = \qquad^{a}$$

(8.14)

სადაც მუდმივა ახასიათებს მაკრომოლეკულის ფორმას ხსნარში და დაკავშირებულია ჯაჭვის მოქნილობასთან. მყიფე მოლეკულებისათვის, რომელთა ფორმა ჩხირისებრთან ახლოა, სფეროსებრი მოქნილი მოლეკულებისათვის და მუდმივე განისაზღვრება იმ პოლიმერების მახასიათებელი სიბლანტის გაზომვით, რომელთა მოლეკულური წონები განსაზღვრულია სხვა მეთოდებით, მაგალითად, სინათლის განბნევით. მუდმივების მნიშვნელობები ცნობილია მრავალი გამხსნელისათვის სხვადასხვა ტემპერატურაზე. ამდენად, პოლიმერების მოლეკულური წონის განსაზღვრის ამ მეთოდს ფართო გამოყენება აქვს.

საშუალო კონცენტრაციის პოლიმერების ხსნარები ნიუტონისა და პუაზეილის კანონებს არ ემორჩილება, მათთვის სიბლანტის კოეფიციენტი მუდმივი არ არის; დამოკიდებულია სიჩქარის გრადიენტზე ან წნევაზე, თუ მისი განსაზღვრა კაპილარული

ვისკოზიმეტრით ხდება. სტრუქტურირებული კოლოიდური სისტემების მსგავსად, სიჩქარის გრადიენტის გაზრდით ხსნარის სიბლანტე მცირდება და თანდათან უახლოვდება გარკვეულ ზღვარს. ეს იმით აიხსნება, რომ ხსნარის დინებისას მორგვებად შეკრული მაკრომოლეკულები იშლება, სწორდება და ორიენტირდება დინების მიმართულებით, რაც ამცირებს ნაკადის ჰიდროდინამიკურ წინააღმდეგობას. გარდა ამისა, საკმაოდ კონცენტრირებულ ხსნარებში მაკრომოლეკულების ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება ასოციატები ან სივრცითი სტრუქტურის ნაწყვეტები, რაც ხელს უშლის ხსნარის დინებას. დინების სიჩქარის ზრდის შესაბამისად ეს სტრუქტურები თანდათან იშლება და სიბლანტე მცირდება.

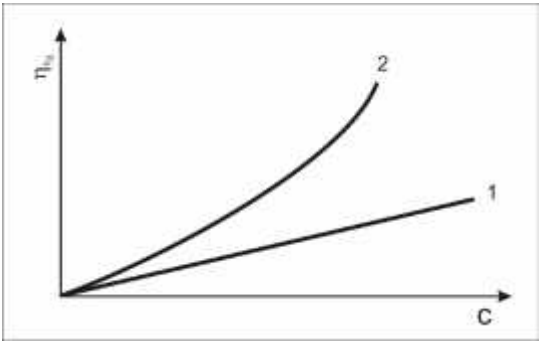
ტემპერატურის გაზრდით სტრუქტურების წარმოქმნის შესაძლებლობა მცირდება და ამის გამო მაღალ ტემპერატურაზე *ნიუტონისა* და *პუაზეილის* კანონებიდან გადახრა ნაკლებად შესამჩნევია.

კონცენტრაციის შემდგომი გაზრდით პოლიმერის სიბლანტე თავისებურად იცვლება. დაბალმოლეკულური ნივთიერებებისთვის ეს დამოკიდებულება წრფივია, პოლიმერების ხსნარებში კი კონცენტრაციის გაზრდით სიბლანტე მკვეთრად იზრდება მრუდხაზოვნად, ამასთანავე, მრუდი ამოზნექილია კონცენტრაციის ღერძისაკენ.

სიბლანტის ასეთი მკვეთრი ზრდა გამოწვეული უნდა იყოს სტრუქტურის წარმოქმნით ხსნარში, ანუ ხსნარი უკვე სტრუქტურული სიბლანტით ხასიათდება.

სიბლანტის ასეთი ანომალიის მიზეზი თავისუფლად შეიძლება აიხსნას იმით, რომ აინშტაინის განტოლებაში უნდა ფიგურირებდეს სისტემის არა საერთო, არამედ ეფექტური მოცულობა, ანუ სისტემის მოცულობა მაკრომოლეკულების მოცულობის გამოკლებით. რადგანაც ხსნარში მაკრომოლეკულები იმყოფება მორგვების სახით, რომლებიც შეიცავს გეომეტრიულად დაკავშირებულ გამხსნელის დიდ რაოდენობას, ამ გამხსნელის მოცულობა უნდა მიეკუთვნებოდეს დისპერსიული ფაზის მოცულობას.

პოლიმერების ხსნარების სიბლანტეზე მოქმედებს ხსნარში ზოგიერთი ნივთიერების უმნიშვნელო რაოდენობით შეტანა. პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ცელულოზის ეთერების ხსნარებზე მზარდი რაოდენობით სპირიტს ან წყლის დამატებისას სიბლანტე ჯერ მცირდება, სემდეგ კი იზრდება. ამავე ხსნარებში ალუმინის, რკინის, თუთიის, ტყვიის, მაგნიუმის,



ნახ. 8.4. პლასტიური სიბლანტის დამოკიდებულება შაქრისა (1) და ნატრიუმის კაზეინატის (2) წყალხსნართა კონცენტრაციებისაგან.

კალციუმის მარილების შეტანით სიბლანტე იზრდება, რომელიც, ალბათ, გამოწვეულია მათ მიერ პოლიმერის მოლეკულურ ჯაჭვზე აქტიური ცენტრების გამონთავისუფლების გამო მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების გაზრდით ან მინარევებისა და პოლიმერის მოლეკულებს შორის ქიმიური კავშირების წარმოქმნით.

8.6. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების მდგრადობა

მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარები ჭეშმარიტი ხსნარების მსგავსად აგრეგატულად მდგრადი სისტემებია, თუ კი ისინი თერმოდინამიკურად წონასწორულ მდგომარეობაში იმყოფება. დიდი რაოდენობით ელექტროლიტის დამატებისას ადგილი აქვს ხსნარიდან ნივთიერების გამოყოფას, თუმცა ეს მოვლენა ტიპიური კოლოიდური სისტემების კოაგულაციისაგან განსხვავდება. ზოლის კოაგულაცია ხდება ელექტროლიტის მცირე რაოდენობით დამატებისას და, ჩვეულებრივ, შეუქცევადი პროცესია, მმნ გამოყოფა კი ელექტროლიტის დიდი რაოდენობით დამატებისას ხდება, არ ემორჩილება *შულცე-ჰარდის* წესს და,ამავე დროს, არა- შექცევადი პროცესია. ნალექიდან ელექტროლიტის მოშორების შემდეგ (დიალიზი ან დეკანტაცია), მმნ კვლავ იხსნება. ზოლის კოაგულაცია ხდება ნაწილაკზე არსებული ორმაგი ელექტრული შრის შეკუმშვისა და ნაწილაკის ზედაპირული მუხტის შემცირების ან სრული კომპენსაციის გამო, რომელიც ზოლის მდგრადობის ძირითადი ფაქტორია. ელექტროლიტის დამატებისას ხსნარიდან პოლიმერის გამოყოფა ელექტროლიტის კონცენტრირებულ ხსნარში მისი ხსნადობის შემცირებით აიხსნება. დაბალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარებში

მსგავსი მოვლენის ანალოგიურად, მას შეიძლება გამომარილება ვუწოდოთ. პოლიმერის გამოყოფა ხსნარიდან პრინციპულად არ განსხვავდება გამომარილებისაგან მასზე არაგამხსნელის დამატებისას. გამომარილებაზე მოქმედი უნარის მიხედვით იონები იგივე ლიოტროპულ რიგში ლაგდება, როგორშიც კოაგულაციის შემთხვევაში:

$$ი^{+} > \quad ^{+} > ^{+} > ღბ^{+} > ჩს^{+}$$

ანიონებისათვის რიგი კი ასე ჩაწერება:

$$შ \ {}^{2}_{4}{}^{-} > ჩლ^{-} > \quad {}^{-}_{3} > \quad რ^{-} > ჟ^{-} > \quad ჩშ^{-}$$

რაც მეტად ლიოფილურია იონი, მით მეტად ამცირებს იგი პოლიმერის ხსნადობას მოცემულ გამხსნელში.

გამომარილება მაღალმოლეკულური ნაერთების ფრაქციონირების ერთ-ერთი მეთოდის საფუძველია. ამ ნაერთების ხსნარებიდან გამოყოფის უნარი დამოკიდებულია მათ ქიმიურ ბუნებაზე და მოლეკულური წონის ზრდით მკვეთრად იზრდება. გამომარილების გზით ფრაქციონირება განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება ცილების დაყოფისათვის.

და, ბოლოს, მნიშვნელოვანი მოვლენაა მაღალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარის დაბერება, რომელიც ყველაზე თვალსაჩინოდ წონასწორული ხსნარის სიბლანტის სპონტანური ცვლილებისას ვლინდება. ეს ცვლილება ხდება მოლეკულურ ჯაჭვზე ჟანგბადის ან სხვა მინარევის ზემოქმედების შედეგად. ჟანგბადი იწვევს მაკრომოლეკულის დესტრუქციას ან ძაფისმაგვარი ცალკეული მოლეკულის შეკავშირებას დიდი ზომის წარმონაქმნებში. პირველ შემთხვევაში ხსნარის სიბლანტე მცირდება, მეორეში კი - იზრდება.

მაშასადამე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მმნ ხსნარები კოლოიდური ხსნარებისაგან განსხვავებით საკუთრივ დაბერებას არ ექვემდებარება. მათი ზოგიერთი

თვისების შეცვლა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში გამოწვეულია ხსნარში არსებული მინარევების ნელი მოქმედებით.

VIII თავის ძირითადი დასკვნები

1. მაღალმოლეკულურ ნივთიერებებს (მმნ) და მათ ხსნარებს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს კოლოიდურ – ქიმიურ კლასიფიკაციაში. მმნ ხსნარები არსებითად ჭეშმარიტ ხსნარებს წარმოადგენს, თუმცა კოლოიდური მდგომარეობის მრავალი ნიშნით ხასიათდება. ამიტომ ამ ნივთიერებებს მოლეკულურ კოლოიდებსაც უწოდებენ.
2. მმნ პოლიმერიზაციისა და პოლიკონდენსაციის პროცესებში წარმოიქმნება მათი სტრუქტურის რამდენიმე ტიპი: ხაზოვანი (ბუნებრივი კაუჩუკი), განშტოებული (სახამებელი), სივრცითი (ფენოლფორმალდეჰიდური ფისები).
3. მმნ შეიძლება იყოს მყარ (კრისტალურ) და თხევად (ამორფულ) მდგომარეობაში.
4. მოლეკულერი თეორიის თანახმად, მმნ საკმაოდ განზავებული ხსნარები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელ ცალკეულ მაკრომოლეკულებს შეიცავს, რომლებიც მაიერისა და მარკის თეორიის თანახმად, მიცელების სახით იმყოფება. ამ თეორიას დღეს მხოლოდ ისტორიული ხასიათი აქვს.
5. =ცონსტ პირობებში მმნ თავისთავადი გახსნა იზობარული პოტენციალის შემცირებითა და ენტროპიის ზრდით მიმდინარეობს. გამხსნელთან ურთიერთქმედებისას ხდება პოლიმერის მასისა და მოცულობის ზრდა

დროში. ამ პროცესს გაჯირჯვება ეწოდება, რომლის საზომად გაჯირჯვების ხარისხი გამოიყენება. გაჯირჯვება პოლიმერის გახსნის წინა საფეხურია.

6. მაღალმოლეკულერ ნივთიერებათა ხსნარებში შერწყმულია ჭეშმარიტი დაბალმოლეკულური ხსნარებისა და კოლოიდური სისტემების თვისებები. ჭეშმარიტი განზავებული ხსნარები ემორჩილება რაულის კანონს, რომ-ლის გამოყენებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნას გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური წონა. მმნ მოლეკულური წონის განსაზღვრისათვის ეს მეთოდი არ გამოდგება, რადგან პოლიმერის უზარმაზარი მოლეკულური წონის გამო მისი მოლური წილი და, შესაბამისად, გამხსნელის ორთქლის წნევის დეპრესია ხსნარზე იმდენად მცირეა, რომ მისი გაზომვა ძალიან ძნელია.
7. ოსმოსური წნევა მმნ ხსნარებში გაცილებით დიდია, ვიდრე ეს ვანტ-ჰოფის კანონიდან გამომდინარეობს. ამავე დროს კონცენტრაციის ზრდისას ოსმოსური წნვა იზრდება არა წრფივად როგორც ჭეშმარიტ დაბალ-მოლეკულურ ხსნარებში, არამედ უფრო ჩქარა (მრუდხაზოვნად), რაც მმნ მოქნილი მოლეკულების დაშლის შედეგად წარმოქმნილი სეგმენტების რიცხვის ზრდითაა გამოწვეული.
8. მაკრომოლეკულების დიდი ზომის გამო პოლიმერების ხსნარები დიფუზიის მცირე უნარით ხასიათდება. შემცირებულია ამ ხსნარებში სინათლის განბნევის უნარიც. მიუხედავად ამისა, დიფუზიის კოეფიციენტის გაზომვისა და ნეფელომეტრული მეთოდი

ფართოდ გამოიყენება პოლიმერების მოლეკულური წონის განსაზღვრის მიზნით.

9. მმნ ხსნარების სიბლანტე გაცილებით მეტია დაბალმოლეკულური ნივთიერებების ხსნარებისა და კოლოიდური სისტემების სიბლანტეზე. ნიუტონისა და პუაზეილის კანონებს მმნ მხოლოდ ძლიერ განზავებული ხსნარები ემორჩილება. კონცენტრაციის გაზრდით პოლიმერის ხსნარის სიბლანტე მკვეთრად იზრდება, რაც გამოწვეული უნდა იყოს ხსნარში სტრუქტურების წარმოქმნით, ანუ ხსნარი პლასტიკური სიბლანტით ხასიათდება. სიბლანტის გაზომვის მეთოდით შეიძლება პოლიმერის მოლეკულური წონის განსაზღვრა.

დანართი 1

ძირითადი ფიზიკურ-ქიმიური კონსტანტები

№	კონსტანტები	აღნიშვნა/გა ნზომ	სიდიდე
1.	ავოგადროს რიცხვი	**,** [მოლი$^{-1}$]	$6{,}02 \cdot 10^{23}$
2.	ბოლცმანის მუდმივა	**კ,** [ჯ· $^{-1}$]	$1{,}38 \cdot 1010^{-23}$
3.	აირების უნივერსალური მუდმივა	**ღ,** [მოლი$^{-1.}$ $^{-}$ ^{1}]	8,314
4.	ერთი მოლი იდეალური აირის მოცულობა სტანდ. პირობებში	[მ^{3}·მოლი$^{-1}$]	0,022414
5.	ფარადეის მუდმივა	, [კულ·მოლი$^{-1}$]	96484,56
6.	ელექტრონის მუხტი (აბს. მნიშვნელობა)	კულონი	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$
7.	პლანკის მუდმივა	[ჯ·წმ]	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$
8.	სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში	ც, [მ·წმ$^{-1}$]	2,997924

ლიტერატურა

1. Кроит Г.Р. “Коллоиды”, ОНТИ – Ленинградское отделение. 1934.
2. Песков Н.П., Александрова-Преис, “Курс Коллоидной химии” Госхимиздат М-Л,1948.
3. Писаренко А.П., Поспелова К.А., Яковлев А.Г. “Курс Коллоидной химии” М., 1961.
4. Пасинский А.Г., “Коллоидная химия” , М., 1963.
5. ა.ი. ვარდუკაძე, “კოლოიდური ქიმია”, განათლება, თბილისი. 1965
6. Шелудко А. “Коллоидная химия”, Л., 1960
7. Кузнецов В.А. “Физическая и Коллоидная химия”, Вйсшая школа, Москва, 1968.
8. Пасинский А.Г., “Коллоидная химия”, Вйсшая школа 1968.
9. Воюцкий С.С., “Курс Коллоидной химии”, Изд. М., 1974.
10. Фридрихсберг Д.А.”Курс Коллоидной химии”, Изд. Химия, М., 1984.
11. Фролов Ю.Г. “Курс Коллоидной химии”, Изд. Химия, М., 1984.
12. Захарченко В.Н. “Курс Коллоидной химии” Изд. Химия, М., 1984.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

წინასიტყვაობა ---------- 3
შესავალი ---------- 5
3 კოლოიდური სისტემების მიღება ---------- 6
3.1 დისპერგაციის მეთოდი ---------- 6
3.2 კონდენსაციის მეთოდი, მიცელის აღნაგობა ---------- 11
3.3 კოლოიდური სისტემების გასუფთავება ---------- 14
III თავის ძირითადი დასკვნები ---------- 17
4 დისპერსიული სისტემების ძირითადი თვისებები ---- 19
4.1 დისპერსიული სისტემების მოლეკულურ-კინეტიკური თვისებები ---------- 19
4.1.1 ბროუნის მოძრაობა ---------- 19
4.1.2 დიფუზია ---------- 22
4.1.3 ოსმოსური წნევა ---------- 24
4.1.4 სედიმენტაცია ---------- 26
4.1.5 სედიმენტაციური ანალიზი ---------- 30
4.2 დისპერსული სისტემების ოპტიკური თვისებები ---------- 33
4.2.1 სინათლის განბნევა ---------- 34
4.2.2 სინათლის შთანთქმა ---------- 36
4.2.3 დისპერსიული სისტემების კვლევის ოპტიკური მეთოდები ---------- 38

IV თავის ძირითადი დასკვნები ---------- 42
–
5 დისპერსიული სისტემების მდგრადობა და კოაგულაცია– 44
5.1 ლიოფობური სისტემების მდგრადობისა და კოაგულაციის თეორიული საფუძვლები ---------- 49

5.2 ჩქარი კოაგულაციის კინეტიკა ---------- 56

5.3 ნელი კოაგულაციის თეორია ---------- 61

5.4 ლიოფობური კოლოიდური სისტემების კოაგულაცია ელექტროლიტებით ---------- 62

5.5 მდგრადობის ადსორბციულ-სოლვატური და სტრუქტურულ-მექანიკური ფაქტორები --------- 67

V თავის ძირითადი დასკვნები ---------- 70
---
6 დისპერსული სისტემების რეოლოგიური თვისებები ----- 73
6.1 ჭეშმარიტი სსნარებისა და ზოლების სიბლანტე ----- 75
6.2 სტრუქტურირებული სისტემები და პლასტიკური სიბლანდე ---------- 79

6.3 დისპერსიული სიტემების კლასიფიკაცია სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებების მიხედვით ---------- 83
VI თავის ძირითადი დასკვნები ---------- 88
---
7 დისპერსიული სისტემების ძირითადი სახესხვაობანი 90
7.1 ქაფები ---------- 90
7.2 აეროზოლები ---------- 95
7.3 სუსპენზიები ---------- 98
7.4 ემულსიები ---------- 100

VII თავის ძირითადი დასკვნები ---------- 109
---
8 მაღალმოლეკულური ნივთიერებები (მოლეკულური კოლოიდები) ---------- 113

8.1 მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარები 117

8.2 მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების თერმოდინამიკა ---------- 120
8.3 მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა გაჯირჯვება ------ 122
8.4 მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების თვისებები ---------- 127
8.5 მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების სიბლანტე ---------- 134
8.6 მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა ხსნარების მდგრადობა ---------- 138
VIII თავის ძირითადი დასკვნები ---------- 140

ძირითადი ფიზიკურ-ქიმიური კონსტანტები ---------- 143

ლიტერატურა ---------- 144
შინაარსი ---------- 145