

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

დოქტორანტურის საგანმანათლებლო პროგრამა ქიმია

ირმა თიკანაძე

წყლით ინდუცირებული ელექტრული პერკოლაციის პროცესის
შესწავლა შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში

ქიმიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: მარინა რუხაძე
ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი,
ასოცირებული პროფესორი

თბილისი
2025 წელი

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Faculty of Exact and Natural Sciences

Doctoral Program: Chemistry

Irma Tikanadze

**Study of the Water-Induced Electrical Percolation Process in the Mixed
Reverse Microemulsions**

The thesis work is performed to obtain a PhD academic degree in chemistry

Scientific Supervisor: Marina Rukhadze
Doctor of Chemical Sciences,
Associate Professor

Tbilisi
2025 Year

წყლით ინდუცირებული ელექტრული პერკოლაციის პროცესის შესწავლა შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში

აბსტრაქტი

შესწავლილია ანიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის საფუძველზე მომზადებულ შებრუნებულ, ასევე შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში, წყლით ინდუცირებული ელექტრული პერკოლაციის პროცესი. გამოკვლეულია ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლზე სხვადასხვა ბუნების დანამატების გავლენა.

აღმოჩნდა, რომ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების იონური ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის და არაიონური პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილ ეთერის შერეულ მიკროემულსიებში ელგამტარობის პერკოლაცია დგება $W=[\text{წყალი}]/[\text{ზან}]$ მოლური თანაფარდობის უფრო დაბალ მნიშვნელობაზე, ვიდრე ამას ადგილი აქვს მხოლოდ ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიის შემთხვევაში.

დადგენილია, რომ ბიოლოგიური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნატრიუმის ქოლატის დანამატის კონცენტრაციის გაზრდა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიის წყლის წვეთებში იწვევს ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის მნიშვნელობის შემცირებას დანამატის გარეშე მომზადებულ ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებულ მიკროემულსიასთან შედარებით.

ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ კათიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის დანამატების შეტანა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიის წყლის წვეთებში ელგამტარობის პერკოლაციას სრულად აქრობს, ამასთან რაც მეტია პრომეტაზინის

კონცენტრაცია, W -ს მით უფრო დაბალ მნიშვნელობაზე ხდება ფაზათა გაყოფა ანუ შემდგრევა.

რაც შეეხება მარილების დანამატებს (ლითიუმის ფტორიდი, კალიუმის ბრომიდი, ნატრიუმის ქლორიდი და ა.შ.), აღმოჩნდა, რომ მარილების განზავებული (0.002 M) წყალხსნარების დანამატებით ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებულ მიკროემულსიაში ელგამტარობის პერკოლაცია დგება წყალი/ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლური თანაფარდობის შედარებით მაღალ მნიშვნელობაზე, ვიდრე მხოლოდ სუფთა წყლის შემთხვევაში. ამასთან, პერკოლაციის დროს ხვედრითი ელგამტარობის მნიშვნელობები დაბალია მარილების თანაობისას, ვიდრე სუფთა წყლით მოდიფიცირებული შებრუნებული მიკროემულსიის პერკოლაციის პროცესში. მარილის კონცენტრაციის მატება (0.01M) სრულიად აქრობს პერკოლაციას AOT/დეკანის შებრუნებულ მიკროემულსიაში.

საკვანძო სიტყვები: ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიები; შერეული შებრუნებული მიკროემულსიები; ნატრიუმის ქოლატი; პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი; პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერი; კოსმოტროპული და ქაოტროპული იონური დანამატები; წყლით ინდუცირებული ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლი.

Study of the Water-induced Electrical Percolation Process in the Mixed Reverse Microemulsions

Abstract

The process of water-induced electrical percolation in reverse microemulsions, as well as in mixed water-in-oil microemulsions prepared based on the anionic surfactant sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate, was studied. The effect of additives of different natures on the electrical percolation threshold was investigated.

It was found that percolation of electrical conductivity occurs at a lower value of the $W=[\text{water}]/[\text{surfactant}]$ molar ratio in mixed microemulsions of surfactants, ionic sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate and nonionic polyoxyethylene (4) lauryl ether, than in the case of a reverse microemulsion of sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate alone.

It has been established that an increase in the concentration of the additive of the biological surfactant sodium cholate in aqueous droplets of the reverse microemulsion of sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate leads to a decrease in the value of the electrical percolation threshold compared to the reverse microemulsion of sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate prepared without the additive. Experiments have shown that the addition of the cationic surfactant promethazine hydrochloride to aqueous droplets of sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate reverse microemulsion completely quenches electrical conductivity percolation, and the higher the promethazine concentration, the lower the W value at which phase separation or turbidity occurs.

As for the additives of salts (lithium fluoride, potassium bromide, sodium chloride, etc.), it was found that when adding diluted (0.002 M) aqueous solutions of salts, percolation of electrical conductivity in the sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate microemulsion occurs at a relatively high water/surfactant molar ratio compared to the case of using only pure water. In addition, the values of specific electrical conductivity during percolation in the presence of salts are lower than during percolation of the reverse microemulsion modified with pure water. Increasing the salt concentration (0.01 M) completely quenches percolation in the reverse AOT/decane microemulsion.

Keywords: sodium bis(2-ethylhexyl)sulfosuccinate reverse microemulsions; mixed reverse microemulsions; sodium cholate; promethazine hydrochloride; polyoxyethylene (4) lauryl ether; kosmotropic and chaotropic ionic additives; water-induced electrical percolation threshold.

სარჩევი

გამოყენებული აბრევიატურა	6
1. შესავალი	8
2. ლიტერატურის მიმოხილვა	12
2.1 მიკროემულსიები, გამოყენება, თვისებები და თავისებურებები	12
2.2 შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტრული გამტარობის თეორია	22
2.2.1 შებრუნებული მიკროემულსიების თვისებები და თავისებურებები.....	22
2.2.2 შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტრული გამტარობის თავისებურებები	29
2.2.3 პერკოლაცია. შებრუნებულ მიკროემულსიებში ელექტრული პერკოლაციის პროცესზე სხვადასხვა დანამატების გავლენა.....	39
2.3 შებრუნებულ მიკროემულსიებში ელექტრული გამტარობის კვლევის მეთოდების მიმოხილვა	51
3. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	55
3.1 გამოყენებული რეაგენტები.....	55
3.2 მიკროემულსიების მომზადება	55
3.3 გამოყენებული ხელსაწყოები.....	56
3.4 ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის გაანგარიშება	56
4. შედეგები და განსჯა	57
4.1 ელექტრული პერკოლაციის პროცესის შესწავლა ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებულ მიკროემულსიებში.....	57
4.2 ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა (ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატი + პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერი) შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში	58
4.3. ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა (ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ)	60

სულფოსუქცინატი + ნატრიუმის ქოლატის) შერეულ შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიაში	60
4.4. ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა (ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატი + პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი) შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში	62
4.5. ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა მარილების წყალხსნარებით მოდულირებულ ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შეზღუდულ მიკროემულსიებში	65
4.5.1 მარილების დანამატების კონცენტრაციის გავლენა ელექტრულ პერკოლაციაზე AOT/ნ-დეკანი/წყალი შეზღუდულ მიკროემულსიებში	66
4.5.2 ფტორიდების დანამატების გავლენა ელექტრულ პერკოლაციაზე WIP ექსპერიმენტებში	69
4.5.3. ქლორიდების დანამატების გავლენა ელექტრულ პერკოლაციაზე AOT/ნ- დეკანი/წყალი სისტემაში	70
4.5.4. ლითიუმის სხვადასხვა მარილის გავლენა WIP ექსპერიმენტებში	71
4.5.5. კალიუმის სხვადასხვა მარილის გავლენა WIP ექსპერიმენტებში	73
5. დასკვნა	75
6. გამოყენებული ლიტერატურა	77

გამოყენებული აბრევიატურა

AOT – ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატი

ზან – ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება

თანა-ზან – თანაზედაპირულად აქტიური ნივთიერება

WIP - წყლით ინდუცირებული პერკოლაცია

TIP - ტემპერატურით ინდუცირებული პერკოლაცია

HLB – ჰიდროფილურ-ლიპოფილური ბალანსი

IR – ინფრაწითელი სპექტროსკოპია

NMR – ბირთვულ-მაგნიტური რეზონანსული სპექტროსკოპია

UV-visible – ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპია

DLS – სინათლის დინამიკური განზნევის მეთოდი

SANS – მცირე კუთხოვანი ნეიტრონული განზნევა

SAXS – მცირე კუთხოვანი X-სხივების განზნევა

SC – ნატრიუმის ქოლატი

EO – ეთილენის ოქსიდი

DPD – ნაწილაკების განზნევის დინამიკა

PMZ – პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი

Brij – 30 – პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერი

Brij – 35 – პოლიოქსიეთილენ (23) ლაურილის ეთერი

Brij – 58 – პოლიოქსიეთილენ (20) ცეტილის ეთერი

Brij – 56 – პოლიოქსიეთილენ (10) ცეტილის ეთერი

Brij – 76 – პოლიოქსიეთილენ (10) სტეარილის ეთერი

Brij – 30 – პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერი

Brij – 35 – პოლიოქსიეთილენ (23) ლაურილის ეთერი

Brij – 58 – პოლიოქსიეთილენ (20) ცეტილის ეთერი

Brij – 56 – პოლიოქსიეთილენ (10) ცეტილის ეთერი

Brij – 76 – პოლიოქსიეთილენ (10) სტეარილის ეთერი

Brij – 78 – ეიკოზაეთილენ გლიკოლ ოქტადეცილის ეთერი

Brij – 52 – პოლიოქსიეთილენ (2) ცეტილის ეთერი

Brij – 72 – დიეთილენ გლიკოლ ოქტადეცილის ეთერი

bmim-BF₄-1-ბუტილ-3-მეთილიმიდაზოლის ტეტრაფთორბორატი

HPLC - მაღალი ხარისხის თხევადი ქრომატოგრაფია

RP-HPLC - შებრუნებული ფაზის მაღალი ხარისხის თხევადი ქრომატოგრაფია

MELC - მიკროემულსიური თხევადი ქრომატოგრაფია

1. შესავალი

აქტუალობა. შებრუნებული მიცელები ძირითადად განიხილება როგორც ნანომეტრული ზომის წყლის წვეთები, რომელიც დისპერგირებულია არაპოლარულ გამხსნელში, გარს აკრავს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მონოშრე და წარმოქმნის თერმოდინამიკურად სტაბილურ და ოპტიკურად გამჭვირვალე ხსნარს. შებრუნებულ მიცელებში ამფიფილის პოლარული თავები ორიენტირებულია მიცელის შუაგულისკენ, წყლის მიმართულებით და არაპოლარული კუდი კი ზეთის გარემოში. წარმოქმნილი აგრეგატის ცენტრში მდებარეობს ე.წ. თავისუფალი წყალი, ხოლო ზან-ის პოლარული (ან იონური) თავები ჰიდრატირებულია წყლის მოლეკულებით, რომელსაც პერიფერიულ ან ბმულ წყალს უწოდებენ.

მიკროემულსიები, როგორც თერმოდინამიკურად სტაბილური სისტემები, რომლებიც შეიცავენ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (ზან) სუპრამოლეკულურ თვითორგანიზებულ ანსამბლებს, ფლობენ უნიკალურ თვისებათა მთელ რიგს, რომელთა შესწავლა მნიშვნელოვანია როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით.

მიკროემულსიური სისტემები ბიოლოგიური მემბრანების საუკეთესო ხელოვნურ მოდელს წარმოადგენს. მემბრანული სტრუქტურების მოდელირების მიზნით იყენებენ როგორც ზეთი/წყალში, ასევე წყალი/ზეთში მიკროემულსიებს. შებრუნებული მიცელები ქმნიან უჯრედის ნორმალური მემბრანული სტრუქტურის ანალოგიურ სურათს, ხოლო უკუმიცელათა გულში სოლუბილიზებული წყალი კი ბიოლოგიურ სისტემებში ჩაჭერილი წყლის საუკეთესო მოდელია. შებრუნებული მიკროემულსიების სტრუქტურა რთულია მიცელების გულში მყოფი წყლის მეტად საინტერესო სტრუქტურის გამოც, რომლის კვლევაც აქტუალურია როგორც მიკროემულსიური სტრუქტურების შესწავლის, ასევე ბიოლოგიური მემბრანული სტრუქტურების მოდელირების თვალსაზრისით.

უჯრედში მიმდინარე მოვლენებსა და მიკროემულსიურ სისტემაში მიმდინარე

მოვლენებს შორის არსებობს მკვეთრი პარალელი: უჯრედულ პროცესებში იმპულსის გადაცემისა და უჯრედებს შორის კავშირის შეწყვეტის შემდეგ, იმპულსის გადატანის

შეწყვეტა ძალიან ჰგავს მიკროემულსიაში არსებული წყლის წვეთების მიერ ელექტრული მუხტის გადატანას. ამიტომ მიკროემულსიების ელგამტარობის შესწავლა მნიშვნელოვანია, როგორც უჯრედული პროცესების შესწავლისთვის და ასევე მიკროემულსიების თვისებების შესწავლისთვის.

ელექტრული გამტარობის მექანიზმი შებრუნებულ მიკროემულსიებში, კერძოდ კი მისი მექანიზმი ჯერ კიდევ ბოლომდე არაა ახსნილი, თუმცა ელექტრული პერკოლაციის პროცესის ბუნება და საფუძვლები დეტალურადაა შესწავლილი. ელექტრული გამტარობის გაზომვა - ყველაზე მგრძნობიარე მეთოდია სისტემაში მომხდარი ნებისმიერი სტრუქტურული ცვლილების შესაფასებლად. ეს დასტურდება აღნიშნულ საკითხზე გამოქვეყნებული მრავალფეროვანი მასალით. ელექტრული გამტარობის გაზომვები მნიშვნელოვანია მიკროემულსიური გამტარობის თეორიული მოდელების შესამოწმებლად.

ელექტროგამტარობის პერკოლაცია წყალი/ზეთში (წ/ზ) მიკროემულსიებში არის საინტერესო და შთამბეჭდავი ფენომენი, რომელიც საკმაოდ კარგადაა შესწავლილი წყალი/ AOT/ ზეთი სისტემებში. წვეთების ერთ სივრცეში შეგროვება იწვევს მათ შერწყმას, მასის გადატანას და დაშორებას, რაც ელექტრული პერკოლაციის სავარაუდო მექანიზმია. იმისათვის, რომ წვეთების შერწყმა მოხდეს, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებით დაფარული წყლის წვეთების ახლო კონტაქტი და მასის (იონის) ეფექტური გადატანაა საჭირო, რაც შემდეგ გამტარობის სწრაფ ზრდას იწვევს. ითვლება, რომ წ/ზ სისტემაში ნანო-წყლის წვეთები ურთიერთმიიზიდება და ამ თვითშეკრების გამო იზრდება იონის ეფექტური ტრანსპორტირება, რაც გამტარუნარიანობას ზრდის. დანამატების არსებობამ შეიძლება გააძლიეროს წვეთების შერწყმა და დინამიური პერკოლაციის პროცესს ხელი შეუწყონ ან პირიქით - შეაფერხონ ან სულაც ჩააქრონ პერკოლაცია.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ანიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის საფუძველზე მომზადებულ შებრუნებულ, ასევე შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში, წყლით ინდუცირებული ელექტრული პერკოლაციის პროცესის შესწავლა.

წარმოდგენილი სამუშაოს მიზანი იყო აგრეთვე შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლზე სხვადასხვა ბუნების დანამატების გავლენის

შესწავლა, კერძოდ, სხვადასხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების, ასევე მარილების წყალხსნარებით მოდიფიცირებული წყალი/ზეთში სისტემებში.

სამეცნიერო სიახლე. წინამდებარე სამეცნიერო ნაშრომი ფუნდამენტურ კვლევათა კატეგორიას განეკუთვნება. მოწოდებულია პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერის და ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის, ასევე ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის და პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის შერეული შეზუნებული მიცელების სავარაუდო სტრუქტურა ელექტრულ პერკოლაციაზე დაკვირვებით მიღებული მონაცემების საფუძველზე, შედეგები შედარებულია მხოლოდ ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატით სტაბილიზებულ წყალი/ზეთში მიკროემულსიურ სისტემებთან. შეფასდა ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლზე იონური და არაიონური კოსმოტროპული და ქაოტოპული დანამატების გავლენა.

ნაშრომის თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. შეზუნებული მიკროემულსიების ელგამტარობის კვლევა ფუნდამენტური ხასიათის სამუშაოა თავისი ცალსახა თეორიული მნიშვნელობით. პრაქტიკული გამოყენება მოიცავს ძირითადად მიღებული შედეგების გამოყენებას ისეთ სამეცნიერო საკითხებში, როგორიცაა ბიომემბრანების მოდელირება, მემბრანული ტრანსპორტი, წამლების მიკროემულსიური გადატანა, სოლუბილიზაცია, უჯრედში წამლების და გენების ტრანსპორტი და ა.შ.

ნაშრომი მოცემულია 96 ნაბეჭდ გვერდზე, მოიცავს 35 ნახაზს, 1 ცხრილს, გამოყენებულია 186 დასახელების ლიტერატურული წყარო.

სტატიები: თემასთან დაკავშირებით გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომი იმპაქტ-ფაქტორიან ჟურნალებში:

- 1. I.Tikanadze, M.Kurtanidze, M. Rukhadze, K. Nanobashvili, P. Toidze, G. Bezarashvili, K. Sigua, Structure of Mixed Reverse Microemulsions Based on Sodium Bis (2-Ethylhexyl) Sulfosuccinate and Sodium Cholate, J Surfact Deterg(2019), <https://doi.org/10.1002/jsde.12381>**
- 2. M. Kurtanidze, T. Butkhuzi, I. Tikanadze, R. Chaladze, M. Gvaramia, K. Nanobashvili, M. Alexishvili, P. Toidze and Marina Rukhadze, Interaction of Surface Active Drug Promethazine Hydrochloride with Surfactants: Drug Release from Microemulsions, Tenside Surf. Det. 58 (2021) 5. DOI:[10.1515/tsd-2020-2351](https://doi.org/10.1515/tsd-2020-2351)**

3. K. Nanobashvili, I.Tikanadze, M. Rukhadze*, M.Tchrelashvili and M.Alexishvili, Study of Influence of Salt Additives on the Electrical Percolation Phenomenon in AOT Reverse Microemulsions,(2025) <https://doi.org/10.1515/tsd-2025-2658>

კონფერენციები

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგები წარმოდგენილი იყო 5 საერთაშორისო კონფერენციაზე:

1. 11th Conference of Colloid Chemistry, Study of sodium bis (2-ethylhexyl) sulfosuccinate polyoxyethylene (4) lauryl ether mixed reverse microemulsions, 28th-30th May 2018, Eger, Hungary.
2. 32nd conference of European Colloid and Interface Society, ECIS 2018, Study of Structure of Mixed Reverse Microemulsions Based on Sodium Bis (2-Ethylhexyl) Sulfosuccinate and Sodium Cholate 2nd-7th September, 2018, Ljubljana, Slovenia.
3. 7th International Caucasian Symposium on Polymers & Advanced Materials, Study of Influence of Kosmotropic and Chaotropics Salts on Microenvironment of Polyoxyethylene (4) Lauryl Ether Reverse Micelles at Different pH of Water Pockets. July 27-30, 2021, Tbilisi, Georgia.
4. 37th conference of European Colloid and Interface Society, ECIS 2023, Study of the Influence of kosmotropic and chaotropic ionic additives on the water and temperature induced electrical percolation threshold of AOT reverse microemulsions, 2nd-7th September 2023, Napoli, Italy.
5. 2nd International Scientific Conference and Seasonal School, Science, Education, Innovations and Chemical Technologies from Idea to Implementation 2023”, Effect of Additives On The Percolation of Water /AOT/ Decane Reverse Microemulsion, Held on November 23-25, 2023, in Tbilisi, Georgia.

2. ლიტერატურის მიმოხილვა

2.1 მიკროემულსიები, გამოყენება, თვისებები და თავისებურებები

ტერმინით „მიკროემულსიები“ აღნიშნავენ სისტემებს, რომლებიც პრინციპულად განსხვავდება ჩვეულებრივი მაკროემულსიებისგან. მიკროემულსიები პირველად შეისწავლეს და აღწერეს ჰოარმა და შულმანმა 1943 წელს.

მიკროემულსია არის ერთგვაროვანი, ოპტიკურად იზოტროპული და თერმოდინამიკურად სტაბილური თხევადი ხსნარი 100 ნმ-ზე ნაკლები და 200 ნმ-მდე ნაწილაკების ზომით, რომელიც შედგება ორი შეურევადი სითხისგან, როგორიცაა ზეთი, წყალი ან ორგანული გამხსნელი [1]. ერთი ფაზა, რომელსაც წვეთოვანი ან დისპერსიული ფაზა ეწოდება, დისპერგირებულია მეორე ფაზაში, რომელსაც უწყვეტი ფაზა ეწოდება [2].

დისპერსიული და უწყვეტი ფაზების ტიპის მიხედვით, მიკროემულსიები შეიძლება დაიყოს შემდეგ სამ ტიპად: წყალი ზეთში (W/O), სადაც უწყვეტი ფაზა არის ზეთი, ზეთი წყალში (O/W), სადაც უწყვეტი ფაზა არის წყალი და ურთიერთუწყვეტი ფაზა, როგორც ეს განსაზღვრულია ლიუს და სხვ. და იუს და სხვ. მიერ [3,4].

სპეციფიური სტრუქტურების მქონე მიკროემულსიებს დიდი მნიშვნელობა აქვთ მრავალ სამრეწველო სფეროში, როგორიცაა წამლის ადსორბცია და კანში შეღწევა [5–9], ნავთობის მესამეული აღდგენა [10,11], ჰეკის რეაქციები [12] და ლუმინესცენტური მზის კონცენტრატორები [13], მათი განსაკუთრებული მახასიათებლების გამო, როგორიცაა ულტრადაბალი ზედაპირული დაჭიმულობა, ფაზათაშორისი ზედაპირის დიდი ფართობი, მაღალი ხსნადობა და დაბალი სიბლანტე.

მიკროემულსიების გამოყენება. მიკროემულსიების, როგორც ნანო-წვეთებისგან შემდგარი თერმოდინამიკურად სტაბილური დისპერსიების უნიკალური ბუნება ზრდის მათ მნიშვნელობას სხვადასხვა სფეროში გამოყენებისთვის.

ფარმაცევტიკა. მიკროემულსიების გამოყენებას ფარმაცევტულ პრეპარატებში მრავალი უპირატესობა აქვს თხევადკრისტალურ და ემულსიურ სისტემებთან

შედარებით. მათი სტაბილურობის გამო, მიკროემულსიები ხელს უწყობენ მრავალი თხევადი დოზირების ფორმის შენახვის ვადის გახანგრძლივებას. მიკროემულსიის დისპერსიული ფაზა შეიძლება იმოქმედოს როგორც „რეზერვუარი“ წყალში და ცხიმში ხსნადი პრეპარატებისთვის, გამოყენებული მიკროემულსიის ტიპის მიხედვით: „ზეთი წყალში“ ლიპოფილური ნივთიერებებისთვის, „წყალი ზეთში“ ჰიდროფილური ნივთიერებებისთვის [14]. გარდა ამისა, უნიკალური ხსნადობის უნარის გამო, შესაძლებელია ერთდროულად შეიყვანოთ როგორც ჰიდროფილური, ასევე ჰიდროფობური კომპონენტები. ემულსიებისგან განსხვავებით, მიკროემულსიები ხელს უწყობენ იმუნური სისტემის რეაქციის შემცირებას და ასევე მინიმუმამდე დაიყვანება ემბოლიის რისკი, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს პრეპარატის მაღალი ცხიმოვანობით.

ზოგიერთმა კვლევამ აღნიშნა, რომ მიკროემულსიების გამოყენება ფარმაცევტულ პროდუქტებში ხელს უწყობს ადსორბციის გაზრდას, კლინიკური აქტივობის გაუმჯობესებას და ზოგიერთ შემთხვევაში მედიკამენტების ტოქსიკურობის შემცირებას [15, 16]. ამრიგად, მიკროემულსიები შესანიშნავია ისეთი პრეპარატების მიწოდებისთვის, როგორიცაა სტეროიდები, ჰორმონები, ანტიბიოტიკები და შარდმდენები. პეპტიდებისა და ცილების შემცველი პრეპარატებისთვის შეინიშნება ბიოშელწევადობის ზრდა და ასევე აღინიშნება ცილის დენატურაციის არარსებობა ხანგრძლივი შენახვის დროს [17].

როგორც ქიმიური რეაქტორები. მათი უნიკალური სტრუქტურის გამო, მიკროემულსიები გამოყენება, როგორც სარეაქციო „კონტეინერები“ მრავალი ქიმიური რეაქციის განსახორციელებლად, რომელთა ძირითადი ტიპებია არაორგანული ნაწილაკების (ნანონაწილაკების) წარმოქმნა, პოლიმერიზაციის რეაქციები, ფოტოქიმიური, ელექტროქიმიური, ორგანული ნივთიერებების სინთეზის ელექტროკატალიზური რეაქციები [18]. მიკროემულსიების გამოყენებამ ასევე ფართო გამოყენება ჰპოვა ფერმენტულ კატალიზში. ბიოლოგიურ სისტემებში, ჰიდროფობურ და ჰიდროფილურ რეგიონებს შორის საზღვარზე მრავალი ფერმენტი მოქმედებს და ეს ზედაპირები, როგორც წესი, სტაბილიზირებულია პოლარული ლიპიდებით და სხვა ბუნებრივი ამფიფილებით. მიკროემულსიებში წარმართული ფერმენტული კატალიზი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა რეაქციებისთვის,

როგორცაა ეთერების სინთეზი, სხვადასხვა ჰიდროლიზის რეაქციები და სტეროიდების მონაწილეობით ტრანსფორმაციები [19]. ბენზალდეჰიდსა და აცეტონს შორის ჯვარედინი ალდოლური კონდენსაციის რეაქციისთვის გამოყენებული იქნა ზეთი-წყალში მიკროემულსია, რომელიც შეიცავდა n-ჰექსანს (ზეთი), n-ბუტანოლს (თანაზედაპირულად აქტიური ნივთიერება) და ცეტილტრიმეთილამონიუმის ბრომიდს (ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება). აღინიშნა, რომ რეაქცია ხდება წყლისა და ზეთის წვეთებს შორის საზღვარზე და მიკროემულსიის შემადგენლობის ცვალილებით შესაძლებელია რეაქციის მაქსიმალური სიჩქარის მიღწევა. [20]

პირდაპირი მიკროემულსიების გამოყენება საშუალებას იძლევა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი ორგანული გამხსნელების (ზეთების) შემცველობა რეაქციის სისტემაში.

რეაქციის გარემოდ გამოიყენება არა მხოლოდ წყალი-ზეთში ან ზეთი-წყალში მიკროემულსიები, არამედ ორმხრივი მიკროემულსიებიც, რაც დემონსტრირებული იყო n-ჰექსილ-β-D-გლუკოპირანოზიდის კატალიზური სინთეზის მაგალითით [21].

ჩატარდა კვლევა ჩანაცვლებული ბენზოილ ქლორიდების სოლვოლიზის რეაქციისა შებრუნებულ მიკროემულსიურ გარემოში. კინეტიკის შესწავლამ საშუალება მისცათ ევარაუდათ, რომ რეაქცია ხდება იზოოქტანსა და წყალს შორის ინტერფეისზე [22].

ნავთობის მესამეული აღდგენა. 10-3 მნ/მ რიგის ულტრადაბალი ზედაპირული დაჭიმულობის მიღების შესაძლებლობა განსაზღვრავს მიკროემულსიური სისტემების გამოყენების ზოგიერთ სფეროს, კერძოდ, ნავთობის მესამეული აღდგენისთვის [23, 24]. ამ მიზნით, მიკროემულსიური სისტემები შეჰყავთ დამხმარე ჭაბურღილებში, რომლებიც განლაგებულია ცენტრალური წარმოების ჭაბურღილის გარშემო გარკვეულ მანძილზე; შემდეგ წყალი იტუმბება დამხმარე ჭაბურღილებში ისე, რომ მიკროემულსიის ფენამ ქანში გააღწიოს. ნავთობშემცველ ქანში გავლისას, ეს მიკროემულსია, რომელსაც აქვს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მნიშვნელოვანი კონცენტრაცია, „რეცხავს“ ნავთობს ქანიდან და უბიძგებს მას წარმოების ჭაბურღილისკენ.

მიკროემულსიური თხევადი ქრომატოგრაფია (MELC). მაღალი ხარისხის თხევად ქრომატოგრაფიაში (HPLC) მიკროემულსიების ელუენტებად გამოყენების შესახებ პირველი მოხსენება 1986 წელს გამოჩნდა, როდესაც მცირე რაოდენობით წყალი დაემატა n-ჰექსანზე დაფუძნებულ მიცელურ ფაზას W/O მიკროემულსიის

წარმოსაქმნელად [25]. ამ სფეროში შემდგომი კვლევა მხოლოდ 4-5 წლის შემდეგ გაგრძელდა, როდესაც მიკროემულსიების ორივე ტიპი გამოყენებული იქნა როგორც მობილური ფაზები [26, 27].

მას შემდეგ აქტიურად შემუშავდა მიკროემულსიური თხევადი ქრომატოგრაფიის (MELC) მეთოდი და ბოლო დროს ის სულ უფრო ხშირად გამოიყენება საკვებ და სამკურნალო ობიექტებში სხვადასხვა ბუნების ორგანული ნივთიერებების დასადგენად. უკუფაზური თხევადი ქრომატოგრაფიისგან (RP HPLC) განსხვავებით, სადაც გრადიენტული ელუირება უნდა იქნას გამოყენებული ჰიდროფილური და ჰიდროფობიური ნაერთების ერთდროული განსაზღვრისთვის, MELC-ს ასევე შეუძლია ასეთი ნარევის დაყოფა იზოკრატიულ რეჟიმში.

შებრუნებული მიკროემულსიების გამოყენება არაპოლარულ სტაციონარულ ფაზებთან კომბინაციაში ლიტერატურაში ყველაზე ხშირად გვხვდება ამ ელუენტების დაბალი სიბლანტისა და RP-HPLC რეჟიმის პოპულარობის გამო.

ხშირად გამოყენებული წყალ-ორგანული მობილური ფაზები, მიკროემულსიები გამოირჩევა უნიკალური გამოყოფის სელექციურობით, რაც კომპონენტების შეკავების ოპტიმალური დროის მიღწევის საშუალებას იძლევა.

რადგან მიკროემულსიები მრავალკომპონენტური სისტემებია, განსაზღვრული ნივთიერებების შეკავების მექანიზმი მნიშვნელოვნად უფრო რთულია, ვიდრე კლასიკური უკუფაზური თხევადი ქრომატოგრაფიის რეჟიმში [28]. პირველ რიგში, მიცელარული HPLC ვარიანტის მსგავსად, სტაციონარული ფაზა მოდიფიცირდება მასზე

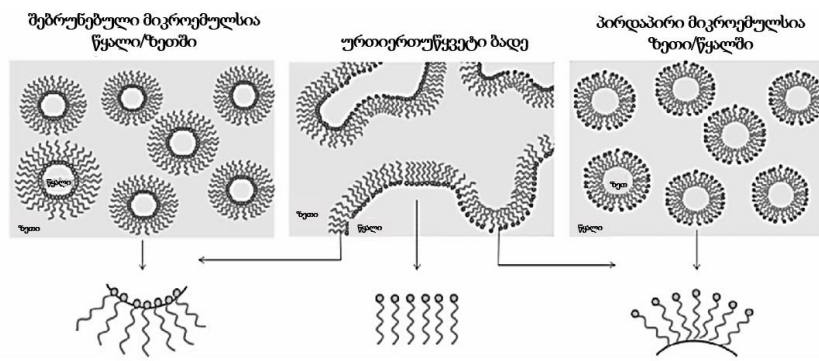
ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულების ადსორბციით, რაც ცვლის მის თვისებებს. მეორეც, წარმოიქმნება კიდევ ერთი წონასწორობა, რომელიც დაფუძნებულია ანალიტის განაწილებაზე წყალხსნარსა და ზეთის წვეთებს შორის. ჰიდროფობიური ნივთიერებები უპირატესად გვხვდება არაპოლარულ ფაზაში (ზეთი), ხოლო ჰიდროფილური ნივთიერებები რჩება პოლარულ (წყლიან) ფაზაში. ანალიტის შეკავება დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე [29]:

- ნივთიერების ხსნადობა მიკროემულსიის პოლარულ და არაპოლარულ ფაზებში;
- ზეთის წვეთების ზომა; • ანალიტის კონცენტრაცია შეყვანილ ნიმუშში;
- ნივთიერების განაწილების კოეფიციენტი მიკროემულსიის შემადგენელ სითხეებს შორის.

გარდა ამისა, ანალიტის შეკავებაზე გავლენა შეიძლება განხორციელდეს მიკროემულსიის შემადგენელი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების, თანაზედაპირულად აქტიური ნივთიერების და ზეთის კონცენტრაციისა და ტიპის ცვალებადობით, ასევე pH-ის, ტემპერატურის შეცვლით და მეორე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების დამატებით [30].

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება (ზან-ი) არის აუცილებელი კომპონენტი, რომელიც ყოველთვის გამოიყენება მიკროემულსიებში მისი ამფიფილური ბუნების გამო. ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებას, რომელიც შედგება ჰიდროფობური ნახშირწყალბადის კუდისგან და ჰიდროფილური პოლარული თავური ჯგუფისგან, შეუძლია შეამციროს ფაზათაშორისი ზედაპირული დაჭიმულობა და უარყოფითად იმოქმედოს ფაზების გამოყოფის პროცესზე, რაც უზრუნველყოფს გრძელვადიანი სტაბილური ემულსიის წარმოქმნას [31–33]. ემულსიები თერმოდინამიკურად არასტაბილურია და მიდრეკილია შერწყმის, დალექვის, ფლოკულაციის და სხვა მოვლენებისკენ. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულები მოქმედებენ როგორც ფაზათაშორისი სტაბილიზატორები. ისინი მიგრირებენ ზეთი-წყლის ინტერფეისზე და ხელს უშლიან შერწყმას [34]. ზან-ის კუდის სიგრძის ნაწილი ვან დერ ვაალსის ურთიერთქმედებით დაკავშირებულია ნახშირწყალბადის ჯაჭვებთან. პოსოკო და სხვ. აკვირდებოდნენ მოლეკულათშორის ჰიდროფობურ ურთიერთქმედების ძალებს, რომლებიც უფრო სტაბილურია, რაც უფრო გრძელია ჰიდროფობური კუდები (მინიმუმ რვა ნახშირბადის ატომი), რაც საბოლოოდ უფრო სტაბილურ ფაზათაშორის ფენას წარმოქმნის [2].

არაპოლარული ნივთიერების, წყლისა და ზან-ის ნარევი შეიძლება წამოიქმნას სხვადასხვა სტრუქტურები: პირდაპირი მიკროემულსიები (პირადპირი მიცელები), შებრუნებული მიკროემულსიები (შებრუნებული მიცელები) და ურთიერთუწყვეტი შრეები. ამა თუ იმ სტრუქტურის წარმოქმნა დამოკიდებულია არა მხოლოდ კომპონენტთა თანაფარდობაზე, ასევე ნივთიერებათა ბუნებაზე, ელექტროლიტთა თანაობაზე, ტემპერატურასა და წნევაზე [35]. ამ ფაზების სქემატურად გამოსახვა მოცემულია ქვემოთ (ნახაზი.1)

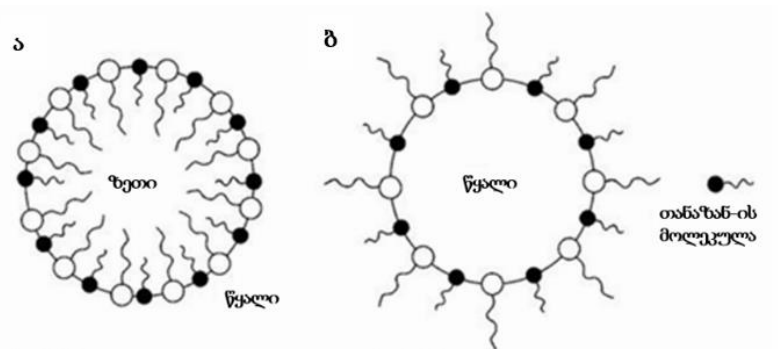


ნახაზი 1. არაპოლარული კომპონენტის, წყლისა და ზან-ის ნარევის ფაზური გამოსახვა.

ფაზური დიაგრამები და მიკროემულსიების ტიპები. როგორც უკვე ითქვა, მიკროემულსიები ოპტიკურად იზოტრიპული ფაზაა თერმოდინამიკურად სტაბილურ ხსნარში[36].

ჩვეულებრივ, მიკროემულსიები, შეიცავენ ოთხ კომპონენტს: წყალი, ნახშირწყალბადი („ზეთი“), კოლოიდური ზან-ი და მიცელაარწარმომქმნელი თანაზან-ი. ოქსიეთილირებული ზან-ების შემთხვევაში მიკროემულსია შეიძლება ჩამოყალიბდეს თანაზან-ის გარეშეც.

შედგენილობისა და პირობების მიხედვით მიკროემულსიის ნაწილაკები წარმოადგენენ ულტრამიკროწვეთებს ნახშირწყალბადისა წყლის ფაზაში (პირდაპირი მიკროემულსიები ზეთი/წყალში (ნახაზი2(ა)) ან, პირიქით, წყლის ულტრამიკროწვეთები ზან-ის მოკლეულების შემცველ ნახშირწყალბადის ფაზაში (შებრუნებული მიკროემულსიები წყალი/ზეთში, (სურ.2 (ბ)).



ნახაზი 2. პირდაპირი (ა) და შებრუნებული (ბ) მიკროემულსიის წვეთების სქემები

ორივე შემთხვევაში წვეთები დაფარულია ზან-ის (და თანაზან-ის) ადსორბციული შრით პირდაპირი ან შებრუნებული მიმართულებით. ასეთი წვეთების ზომა მდებარეობს კოლოიდურ ზღვრებში (10-100ნმ). შედგენილობისა და პირობების

ცვლილებისას მიკროემულსია განშრევდება ორ ან სამ წონასწორულ მიკროფაზად. სტრუქტურული გადასვლები მიკროემულსიურ სისტემებში ხასიათდება მდგომარეობის სამკომპონენტო ფაზური დიაგრამით. (ოთხკომპონენტოანი მიკროემულსიის შემთხვევაში განსაზღვრული თანაფარდობის ზან-ი + თანაზან-ის ნარევი განიხილება ერთ კომპონენტად და ვლუბულობთ (ფსევდო) სამკომპონენტო დიაგრამას).

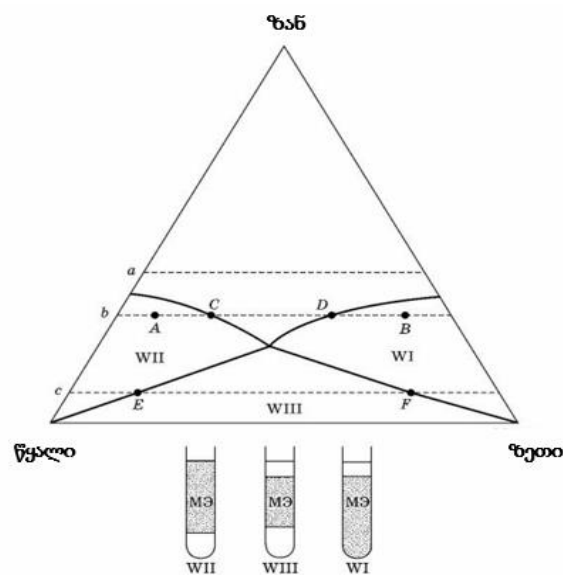
მიკროემულსიების ფაზური დიაგრამების ზოგიერთი უძველესი კვლევა 1960-იანი წლებით თარიღდება (Ekwall et al., 1960)[37]. თერმოდინამიკურად სტაბილური მიკროემულსიების ფორმირება მოითხოვს შესაბამისი კომპონენტების საკმარისი რაოდენობის შერევას. ამ შედგენილობის განსაზღვრა უმნიშვნელოვანესია საჭირო თვისებების მქონე მიკროემულსიების მისაღებად. ამისათვის, კომპონენტების სხვადასხვა შედგენილობის მქონე ნარევები უნდა მომზადდეს და შემოწმდეს სისტემაში არსებული ფაზების ტიპისა და რაოდენობის მიხედვით.

შედეგად მიღებულ დიაგრამებს, რომლებიც აჩვენებს სისტემაში არსებული ფაზების რაოდენობას და/ან ტიპს, რომლებიც შეესაბამება თითოეულ კონკრეტულ შედგენილობას, ფაზური დიაგრამები ეწოდება. სამრეწველო და გამოყენების თვალსაზრისით, ამ პროცესს ეწოდება **ფორმულაცია**. იგი მიუთითებს კომპონენტების სპეციფიკურ სტრუქტურაზე, რომელიც უზრუნველყოფს განსაზღვრული თვისების მქონე სტაბილურ ნარევს. ფაზური დიაგრამების დასადგენად გამოიყენება განსხვავებულ ტექნიკათა მთელი რიგი. მაგ.: ფაზური დიაგრამების დახმარებით დადასტურდა, რომ ე.წ. შულმანის მიკროემულსია არ არის ემულსია, არამედ ხსნადი ხსნარია (შინოდა და კუნიედა) [38]. მიკროემულსიების წარმოქმნის მექანიზმი შესწავლილ იქნა ფაზურ დიაგრამებთან დაკავშირებით და გამჭვირვალე მიკროემულსიის ფორმირებისთვის საჭირო კომპონენტების რაოდენობებს შორის ურთიერთობა გაირკვა ფაზური დიაგრამებიდან (აჰმადი და სხვ., 1974) [39]. მათ შეისწავლეს სხვადასხვა სისტემის ფაზური დიაგრამები ანიონური, კათიონური და არაიონური ზანებით და შემლეს მაქსიმალური ხსნადობის მიღწევა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებისა და თანაზედაპირულად აქტიური ნივთიერების (თანაზანი) ოპტიმალური თანაფარდობით. ორი

მიკროემულსიური სისტემის ფსევდო სამნაწილიანი ფაზური დიაგრამების დეტალურმა შესწავლამ აჩვენა ფაზების ფართო სპექტრის არსებობა. დაასკვნეს, რომ წყლისა და ზეთის დომენებს შორის ურთიერთქმედება მნიშვნელოვანი პარამეტრია, რომელიც გავლენას ახდენს მიკროემულსიების სტაბილურობაზე.[39]

ფაზური დიაგრამის ტიპიური სახე (იდეალური) წარმოდგენლია სურ 2.3. სადაც ჩანს, რომ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მაღალი კონცენტრაციის დროს (ხაზი a) წარმოიქმნება მაკროსკოპულად ერთგვაროვანი სისტემა - მიკროემულსია. ზან-ის უფრო დაბალი კონცენტრაციისას ჩნდება სტრატეფიკაციის რეგიონები (ხაზი b). წარმოიქმნება ორი მაკროფაზა: C შემადგენლობის მიკროემულსია და A წერტილში მიცელების

შემცველი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების წყალხსნარი გახსნილ ნახშირწყალბადთან (WII წონასწორობის სისტემა ვინსორის მიხედვით).

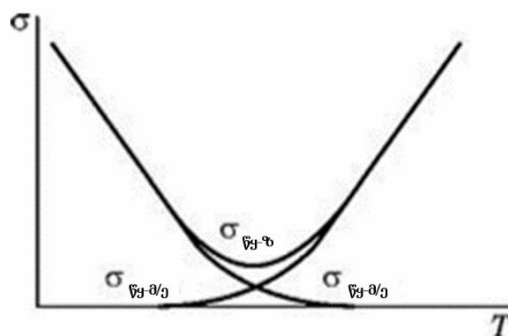


ნახაზი 3. წყალი-ზეთი-ზანი-თანაზანი სისტემის (ფსევდო)სამკომპონენტის ფაზური დიაგრამა. ქვემოთ ნაჩვენებია WI, WII, WIII უბნებში სისტემის განშრევების სქემატური გამოსახულება

ანალოგიურად, B წერტილში წონასწორობაში თანაარსებობს ორი მაკროფაზა: D შემადგენლობის მიკროემულსია და შეზღუდული მიცელების შემცველ ნახშირწყალბადში გახსნილ წყალთან ერთად ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ხსნარი (WI წონასწორობა). შუალედურ რეგიონში (წერტილები CD მონაკვეთზე) სტაბილური „ერთფაზიანი“ მიკროემულსია. კიდევ უფრო დაბალი კონცენტრაციის

მქონე ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებზე, წყალი-ზეთი თანაფარდობის მიხედვით (ხაზი c), არსებობს ხსენებული ორფაზიანი რეგიონებიდან ერთ-ერთი, ან (EF მონაკვეთზე წერტილებში) ხდება სტრატეფიკაცია სამ ფაზად: „შუა ფაზა - მიკროემულსია“, „ზედა - ნახშირწყალბადი“, „ქვედა - წყალხსნარი“ (WIII ტიპის წონასწორობა ვინსორის მიხედვით). ტემპერატურის აწევა და ელექტროლიტების დამატება იწვევს პოლარული ჯგუფების დეჰიდრატაციას. ეს ზრდის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მოლეკულების აფინურობას ნახშირწყალბადების მიმართ და ამცირებს მათ აფინურობას წყლის მიმართ.

ამიტომ, ტემპერატურის (ან ელექტროლიტების კონცენტრაციის) მატებასთან ერთად, შეინიშნება WI ტიპის სტრატეფიკაციის რეგიონის, ანუ ნახშირწყალბადებით მდიდარი რეგიონის შემცირება და წყლით მდიდარი სისტემების (WII) სტრატეფიკაციის რეგიონის გაფართოება. ზან-ის მდგომარეობის ცვლილება ზემოაღნიშნული ზემოქმედების ქვეშ დგინდება წონასწორობის ფაზების საზღვრებში ზედაპირული დაჭიმულობის (a) ტემპერატურული დამოკიდებულების ხასიათის ცვლილებით. ეს ყველაზე მკაფიოდ ჩანს არაიონურ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებზე დაფუძნებული სისტემებისთვის (ნახაზი 4).

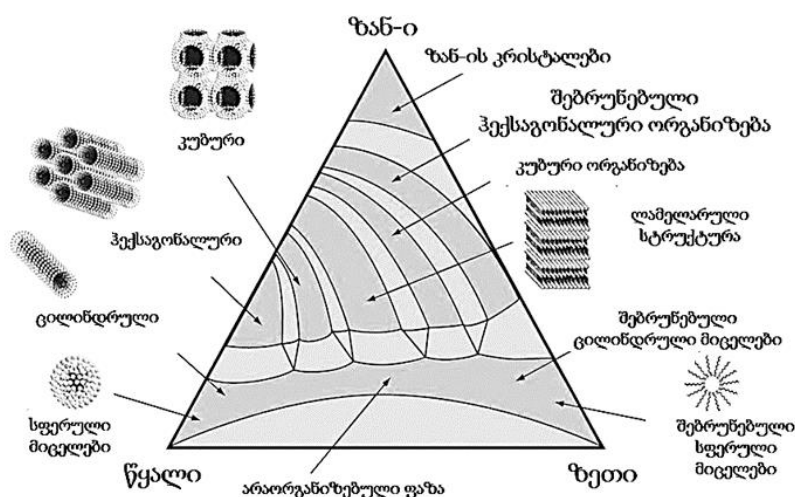


ნახაზი 4. მიკროემულსიურ სისტემებში ზედაპირული დაჭიმულობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების სქემა.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების წონასწორობის სისტემებს მიკუთვნება პირდაპირი და შებრუნებული მიცელები, სფერული, ცილინდრული, ექვსკუთხა აგრეგატები, ურთიერთუწყვეტი ფაზები და ა.შ. ქვემოთ ნაჩვენებია ტიპური ფაზური დიაგრამა (ნახაზი 5), რომელიც ასახავს წონასწორობის ფორმების მრავალფეროვნებას ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულების მიერ შექმნილ სტუქტურებში

შედგენილობის მიხედვით. კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულებს შეუძლიათ ასოციაციების - მიცელების - წარმოქმნა (აგრეგაციის ხარისხი ათეულობით ათიათასობით მოლეკულამდე მერყეობს). წყალში წარმოქმნილ მიცელებს პირდაპირი ეწოდება, არაპოლარულ გარემოში კი - შებრუნებული.

არაპოლარულ გამხსნელებში ზან-ების აგრეგატების ფორმები და ზომები დამოკიდებულია ზან-ის ტიპსა და კონცენტრაციაზე, ასევე სააწინააღმდეგო იონისა და გამხსნელის ბუნებაზე.



ნახაზი 5. წყლისა და არაპოლარულ გარემოში ზან-ის კონცენტრაციის მიხედვით მიცელათა პოლიმორფიზმი

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების კონცენტრაციას, რომლის დროსაც იწყება მიცელების წარმოქმნა ზან-ის მოლეკულებსგან, - **მიცელაწარმოქმნის კრიტიკული კონცენტრაცია (მწკკ)** ეწოდება. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ჭეშმარიტი ხსნარები წარმოიქმნება მწკკ-მდე (10^{-4} - 10^{-2} M), კრიტიკული კონცენტრაციის მიღწევის წერტილში მიცელები თერმოდინამიკურ წონასწორობაშია არაასოცირებულ ზედაპირულად აქტიურ მოლეკულებთან. მწკკ დამოკიდებულია კონკრეტულ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებაზე, კერძოდ, ნახშირწყალბადის ჯაჭვის სიგრძეზე, ოქსიეთილირების ხარისხზე [40] და იონური ჯგუფების არსებობაზე.

2.2 შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტრული გამტრაობის თეორია

2.2.1 შებრუნებული მიკროემულსიების თვისებები და თავისებურებები

შებრუნებული მიკროემულსიები ანუ შებრუნებული მიცელები თერმოდინამიკურად მდგრადი მიკროჰეტეროფაზური თხევადი სისტემებია, რომლებიც წარმოქმნილია ერთმანეთში შეზღუდული ხსნადობის მქონე ორი სითხის შერევის შედეგად ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების თანაობისას. დღესდღეობით შებრუნებული მიცელები კვლევის პოპულარული ობიექტია, რაც დაკავშირებულია მათ ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებთან. შებრუნებული მიცელები არაპოლარულ გამხსნელის გარემოში ზან-ისა და წყლის მოლეკულების თვითორგანიზების შედეგად წარმოიქმნება.

როგორც უკვე ითქვა, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (ზან-ები) ამფიფილური ბუნების გამო ადსორბირდებიან ფაზათა გამყოფ ზედაპირებზე, ამცირებენ ზედაპირულ დაჭიმულობას და ხსნარის შიგნით წარმოიქმნება აგრეგატები, რომლებიც გარშემორტყმულია გარემოსკენ მიმართული ჰიდროფილური (პირდაპირი მიკროემულსიები) ან ლიპოფილური (შებრუნებული მიკროემულსიები) ნაწილებით, რაც იწვევს მიკროემულსიის ფორმირებას. შებრუნებული მიცელები, როლებიც შეიცავენ სოლუბილიზირებული წყლის განსაზღვრულ რაოდენობაზე მეტს, ცნობილია, როგორც წყალი/ზეთში მიკროემულსიები. მიკროემულსიების წვეთების ზომა მერყეობს 10-15 ნმ ინტერვალში. ვიზუალურად მიკროემულსიები გამჭვირვალე ერთგვაროვანი სისტემებია და მოცისფრო ფერით ოპალესცირებენ [41-48].

შებრუნებული მიცელების ზომები რეგულირდება მასში წყლის შემცველობით. როდესაც ზან-ის კონცენტრაცია მუდმივია, წყლის რაოდენობის ზრდით იზრდება შებრუნებული მიცელების მოცულობა. მეორეს მხრივ, თუ წყლის შემცველობა მუდმივია და ზან-ის კონცენტრაცია იზრდება, მაშინ შებრუნებული მიცელების ზომები მცირდება. იმ შემთხვევაში, როცა წყლის და ზან-ის კონცენტრაციები იზრდება მუდმივი თანაფარდობით, მაშინ მიცელის მოცულობა მუდმივი რჩება, ხოლო ნაწილაკების რიცხვი იზრდება [49]. ამიტომ შებრუნებული მიცელების დასახასიათებლად იყენებენ რაოდენობრივ პარამეტრს - თანაფარდობას წყლისა და

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლურ კონცენტრაციებს შორის ანუ $W_0 = [\text{წყალი}]/[\text{ზან}]$. W პარამეტრის სიდიდე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შებრუნებული მიცელებისა და წყლის ჯიბების ფიზიკურ თვისებებზე, მაგ. მიცელის ზომებზე ან წყლის ჯიბის პოლარობაზე. შებრუნებული მიცელები, ზან-ის ფენით წარმოქმნილი გამყოფი საზღვრისა და წყლის ჯიბის დინამიური ბუნების გამო, შეიძლება შეიცავდნენ სუბსტრატის მოლეკულების ყველა სახეს, ჰიდროფილურს, ჰიდროფობურს ან ამფიფილურს. თუმცა ზან-ების აგრეგაცია ორგანულ გამხსნელებში ბევრადაა დამოკიდებული მესამე კომპონენტის (თანაზან-ის) არსებობაზეც. შებრუნებული მიცელების შიგნით ლოკალიზებული წყლის თვისებები ფიზიკურ-ქიმიურად განსხვავდება მოცულობითი წყლის თვისებებისგან და სხვაობა კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი ხდება მიცელურ სისტემაში წყლის შემცველობის შემცირებისას. ეს მიუთითებს შებრუნებულ მიცელებში სოლუბილიზირებული წყლის განსხვავებულ მდგომარეობაზე [46,48]. წყლის ჯიბებისა და ზან-ის ფენის გამყოფი ზედაპირის მდგომარეობა ძლიერაა დამოკიდებული ზან-ის ჰიდროფილურ ჯგუფზე და, შესაბამისად, მისი ცვლილებით შეიძლება წყალი/ზან გამყოფ ზედაპირზე ელექტროსტატიკური მუხტის სიმკვრივის მართვა. ამგვარად, ზან-ის ქიმიურ სტრუქტურას და W -ს მნიშვნელობას შეუძლია ძირითადი როლი ითამაშოს წყლის ჯიბეში მიმდინარე რეაქციებში [50-70].

შებრუნებული მიცელური სისტემების სტრუქტურასა და თვისებებს იკვლევენ სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით: ინფრაწითელი სპექტროსკოპიით [71-73], ბირთვულ-მაგნიტური რეზონანსით [74], ფლოუორესცენტული სპექტროსკოპიით [75-78], განზნევის მეთოდებით [79-81], დიფერენციალურ-სკანირებადი კალორიმეტრიით [71-73], სინათლის დინამიკური განზნევის მეთოდით [82,83], კონდუქტომეტრიით [84-85] და სხვ.

შებრუნებული მიცელების კვლევის მეთოდები.

შებრუნებული მიცელების აღოსაჩენად და მათი პარამეტრების დასადგენად მრავალი განსხვავებული ექსპერიმენტული მეთოდი გამოყენებული სხვადასხვა კვლევებში. ნაშრომებში [88-95] გამოყენებულია დინამიური შუქგაბნევა (DLS), რომელიც საშუალებას იძლევა გაიზომოს მიცელათა ზომები (იმ დაშვებით, რომ ისინი

სფერულია) და სიბლანტესთან ერთად იპოვონ დიფუზიის კოეფიციენტი. ისტორიულად ისე მოხდა, რომ მცირეკუთხოვანი გაბნევა (SANS და SAXS) განიხილებოდა, როგორც ძირითადი მეთოდი შებრუნებული მიცელების სტრუქტურის კვლევაში[97], მაგრამ მისი ნაკლი დაკავშირებულია ნეიტრონთა ნაკადისა და რენტგენის სხივების გენერაციასთან, რაც შესაბამის ხელსაწყოებს და აღჭურვილობას მოითხოვს. ხსნარში მიცელების აღმოჩენა, ასევე მათი ზომების განსაზღვა შესაძლებელია ფლუორესცენტური კორელაციური სპექტროსკოპიით (FCS). ნაშრომში [87] შესწავლილია ჭიისმაგვარი შებრუნებული მიცელები სოლუბილიზებული დნმ-ის მოლეკულებით, ხოლო FCS -ის საშუალებით მიღებული დიფუზიის კოეფიციენტისა და ეშტეინ-სტოქსის განტოლების საფუძველზე განისაზღვრა ჭიისმაგვარი მიცელების ზომები.

ვისკოზიმეტრია ასევე წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე მარტივ ხერხს შებრუნებული მიცელების ზომების განსაზღვრისთვის. ნაშრომში [99] ავტორები იკვლევდნენ AOT + SDEHP (დი-(2-ეთილჰექსილ)ფოსრომჟავას ნატრიუმის მარილი) სისტემის შებრუნებულ მიცელებს ოსვალდის ვისკოზიმეტრით, ამზადებდნენ რა მიცელური ხსნარების სერიებს ზან/წყალი სხვადასხვა მოლური თანაფარდობით (W) და აღმოაჩინეს წრფივი დამოკიდებულება შებრუნებული მიცელის წყლის გულის დიამეტრსა და W-ს შორის. ნაშრომში [96] ნაწილაკთა და, მათ შორის, შებრუნებული მიცელების წყლის გულის თვითდიფუზიის კოეფიციენტი, სისტემაში AOTNa/წყალი/bmim-BF₄ (1-ბუტილ-3-მეთილიმიდაზოლის ტეტრაფთორბორატი), განისაზღვრა ბმრ-სპექტრისკოპიის საშუალებით ბირთვებზე ¹H, ¹⁹F და ²³Na.

1980-იანი წლებიდან კომპიუტერული მოდელირება ფართო გამოყენებას პოულობს რთული ფიზიკური სისტემების მოლეკულურ დონეზე შესწავლაში. პოპულარული ხდება მონტე-კარლოს და მოლეკულური დინამიკის მეთოდები [88]. პირველი მეთოდის მთავარი იდეა გულისხმობს წინასწარ განსაზღვრული ალგორითმის გამოყენებით შექმნილი მოლეკულური სისტემის სხვადასხვა კონფიგურაციის ნიმუშის შექმნას. მეორე მეთოდი გულისხმობს ნიუტონის მოძრაობის განტოლებების რიცხობრივ ამოხსნას. ნაშრომში[91] წყალი/ზეთი/ზან ნარევები გამოკვლეული იქნა მოლეკულური დინამიკის მეთოდის გამოყენებით. აღსანიშნავია, რომ წყლის მოლეკულები წარმოდგენილი იყო წყლის მსგავსი ნაწილაკების სახით, ხოლო ზეთის

მოლეკულა - ზეთის მსგავსი ნაწილაკების ჯაჭვის სახით, ხოლო ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულა იყო ზეთის მსგავსი და წყლის მსგავსი ნაწილაკების ჯაჭვი [91,92]. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ [91]-ში არ იყო დამუხტული ნაწილაკები და არ იყო გამოყენებული კულონის ძალები, მხოლოდ ლენარდ-ჯონსის პოტენციალი, მაგრამ ამ ფაქტის მიუხედავად, მოლეკულურ დონეზე დაფიქსირდა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ადსორბცია ფაზის საზღვარზე, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულების თვითორგანიზება მიცელებად და ზეთის გახსნა მიცელის ბირთვში. ნაჩვენები იყო, რომ აგრეგატების დინამიკა და მორფოლოგია დამოკიდებულია ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების „თავების“ სტრუქტურაზე. განშტოებული „თავის“ მქონე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულებისთვის, წარმოქმნილი აგრეგატების ზომა მცირდება ტემპერატურის მატებასთან ერთად[91]. შეზღუდული მიცელების პირველი კვლევა მოლეკულური დინამიკის უხეშმარცვლოვანი მიდგომის გამოყენებით ჩატარდა 1988 წელს [93]. ხსნარში შეზღუდული მიცელების მოცულობითი წილი იმდენად დაბალი იყო (მაგრამ არა მწყკ-ზე დაბალი), რომ შეიძლებოდა მიცელებს შორის ურთიერთქმედებების უგულებელყოფა. წყლის მოლეკულის მოდელად გამოყენებული იქნა SPC (მარტივი წერტილოვანი მუხტი) - ტეტრაედრული სამცენტრიანი მოდელი 0.1 ნმ O-H ბმის სიგრძით და ჟანგბადსა და წყალბადზე წერტილოვანი მუხტებით, შესაბამისად -0.82 და +0.41e [94], ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულა წარმოდგენილი იყო ჰარმონიული ბმებით დაკავშირებული ორი სფერული ურთიერთქმედების ცენტრით, ხოლო არაპოლარული გამხსნელი განიხილებოდა, როგორც ნაწილაკი ერთი ურთიერთქმედების ცენტრით. წინა ნაშრომისგან განსხვავებით, [94]-ში გამოყენებული იყო ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედებები. ყველა გამარტივების მიუხედავად, მიღებულ იქნა შეზღუდული მიცელების ზოგიერთი მნიშვნელოვანი თვისება. მაგალითად, აღინიშნა, რომ მიცელების დიფუზია ხსნარში უკიდურესად დაბალია არაპოლარულ გამხსნელთან შედარებით. შედგენილია კომპონენტების რადიალური სიმკვრივის პროფილები, რაც ადასტურებს შეზღუდული მიცელების სტრუქტურის შესახებ ზოგად წარმოდგენებს, სადაც კათიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მიერ წარმოქმნილი ანიონები არათანაბრად არის

განაწილებული მიცელის წყლიან ბირთვში და განლაგებულია ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების „თავებთან“. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ზან-ის „თავი“ / ზან-ის „კუდი“ / აგრეგატის მასის ცენტრს შორის წარმოქმნილი კუთხის განაწილება აჩვენებს, რომ ასეთი კუთხეების 90% 30°-ზე ნაკლებია. შემდეგმა ნაშრომმა [74], იმავე უხეშად დამუშავებული მიდგომის გამოყენებით, რომელიც ერთი წლის შემდეგ შესრულდა, დაადასტურა მონაცემები, რომ კონტრიონები განლაგებულია აგრეგატის ზედაპირთან ახლოს და ზოგიერთი მათგანი მკაცრად ქმნის წყვილებს ნაწილაკებთან, რომლებიც ბაძავენ კარბოქსილატის იონებს, ხოლო დანარჩენი ერთმანეთისგან გამოყოფილია წყლით. ამ შემთხვევაში, წყლის დიპოლები იონებით იყო ორგანიზებული და წყალბადური ბმები ნაწილობრივ განადგურდა. კვლევაში [79], წინა ორი ნაშრომისგან განსხვავებით, გამოყენებული იქნა ატომისტური მიდგომა, რის გამოც შესაძლებელი გახდა არაპოლარული გამხსნელის გავლენის გათვალისწინება სისტემის სტრუქტურულ და დინამიურ თვისებებზე. გამოყენებული იქნა ორი გამხსნელი: CCl_4 (ერთი ურთიერთქმედების ცენტრის მქონე ნაწილაკი) და ოქტანი (ნახშირწყალბადის ჯაჭვი). აღმოჩნდა, რომ მიცელების სტრუქტურა ორივე შემთხვევაში მსგავსია, ხოლო მიცელის ზედაპირთან ახლოს არაპოლარული ფაზის სტრუქტურა განსხვავებულია.

ამრიგად, ნახშირბადის ტეტრაქლორიდის ფაზა მიცელისგან უფრო დიდ გავლენას განიცდის, ვიდრე ოქტანის შემთხვევაში. ამ ნაშრომში ნაჩვენებია იყო შეზღუდული მიცელის და მისი წყლიანი ბირთვის ექსცენტრიულობის ევოლუცია. დაასკვნეს, რომ მიცელების ფორმა სფერულთან ახლოსაა, მაგრამ საინტერესოა, რომ წყლიანი ბირთვის ექსცენტრიულობა და ექსცენტრიულობის ვარიაციები მცირეა. საშუალო მნიშვნელობებია შესაბამისად 0.03-0.04 და 0.07 წყლიანი ბირთვისა და მიცელისთვის. ნაჩვენებია იყო ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების არაპოლარული „კუდის“ ტრანს-გოშური კონფორმაციების განაწილება და ახსნილი იყო, თუ რომელი კონფორმაცია ხელსაყრელი სივრცითი დაბრკოლების შესამცირებლად.

ლუმ, ბერკოვიჩმა და სხვ. [95] პირველებმა წარმატებით ჩაატარეს შეზღუდული მიცელების თვითორგანიზების კომპიუტერული სიმულაციები, რათა თავიდან აეცილებინათ საწყისი პირობების გავლენა წინასწარ აწყობილი მიცელების შემთხვევაში, გამხსნელად ზეკრიტიკული CO_2 -ის გამოყენებით, რომელიც ფართოდ

გამოიყენება პოლიმერების ინდუსტრიაში მისი არატოქსიკურობის, არააალებადობისა და განახლებადობის გამო. მათ წონასწორობის მიღწევა დაახლოებით 5 ns-ში მოახერხეს. საინტერესოა, რომ წყლისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულები მაშინვე არ შეიკრიბნენ ერთ მიცელად. თავდაპირველად, წყლისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულებმა შედარებით სწრაფად შექმნეს 3-4 პატარა მტევანი, რის შემდეგაც მოჰყვა ამ კლასტერების ორ მიცელის მსგავს აგრეგატად გაერთიანების უფრო ნელი პროცესი. ორი აგრეგატის ერთ შებრუნებულ მიცელად საბოლოო გაერთიანებას მნიშვნელოვანი დრო დასჭირდა წინა ორ ეტაპთან შედარებით.

ბოლო წლებში მრავალი კვლევა ეძღვნება **ემულსიების სტაბილურობაზე მოქმედ ფაქტორებს**, როგორიცაა ემულსიის შედგენილობა, pH, იონური სიმძლიერე, ძვრადობა და კრიოპროტექტორების არსებობა [104–109]. ამ კონტექსტში, ოკურო და თანაავტორები იკვლევდნენ მაღალფაზური წყალი-ზეთში ემულსიების (HIPEs) ფაზურ გარდაქმნას ზეთი-წყალში ემულსიებად დამატებითი ენერგიის მიწოდების პირობებში. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ინვერსიის მაღალი სიჩქარისას ყველა წყალი-ზეთში ტიპის HIPE-ში შეინიშნებოდა სიბლანტის შემცირება და არასტაბილურობა, მაშინ როდესაც ზეთი-წყალში ტიპის მიკროემულსიები გამოირჩეოდნენ უფრო მაღალი სიბლანტითა და სტაბილურობით [110]. ჰუანგმა და სხვებმა გამოიკვლიეს, რომ ტემპერატურას, წყალი-ზეთის თანაფარდობას (W) და ჰიდროფილურ-ლიპოფილური ბალანსის (HLB) მნიშვნელობას შეეძლო გავლენა მოეხდინა მიკროემულსიის სტაბილურობასა და ფორმაზე, როგორც ზეთი-წყალში ასევე შებრუნებულ წყალი-ზეთში სისტემებში. აღმოჩნდა, რომ შებრუნებული წყალი-ზეთში ემულსია ყველაზე სტაბილური იყო სხვადასხვა გავლენის მქონე ფაქტორების ზემოქმედებისას [111]. ჟონგიმ და სხვ. აჩვენეს, რომ მარილის იონების დამატება ზრდიდა ცილის ადსორბციის ხარისხს ინტერფეისზე და უფრო გამძლე იყო. 100 mM მარილის დამატებით, ასეთ ემულსიებს ჰქონდათ საუკეთესო სტაბილურობა [107]. გარდა ამისა, საწვავის მიკროემულსიების სტაბილურობა შეისწავლეს ოლსონმა და სხვებმა [112,113], დამმა და სხვებმა [114,115] და პისკუნოვმა და სხვებმა [116,117]. ეს კვლევები ძირითადად ფოკუსირებული იყო ისეთ ექსპერიმენტულ ანალიზზე,

რომელიც არ არის ემულსიის წარმოქმნისა და სტაბილურობის მექანიზმზე მოქმედი ფაქტორები.

ციფრული მოდელირება უზრუნველყოფს მექანიზმის შესწავლის სიცოცხლისუნარიან სტრატეგიას პრაქტიკული შეზღუდვების დასაძლევად. **კომპიუტერული სიმულაცია** გახდა ძლიერი ინსტრუმენტი ამფიფილური კოპოლიმერების მიკროსტრუქტურების შესასწავლად [118]. მოლეკულური დინამიკის სიმულაციები სულ უფრო ხშირად გამოიყენება ფაზური ქცევის შესასწავლად [119–121]. მაომ და სხვებმა გამოიყენეს **მოლეკულური დინამიკის** სიმულაციები, რათა გაერკვიათ ფაზათაშორისი აქტიური ასფალტენებით (IAA) სტაბილიზებული ზეთი/წყალში ემულსიების სტაბილურობისა და არასტაბილურობის მოლეკულური მექანიზმები [103,117]. **დისიპაციური ნაწილაკების დინამიკა** (DPD) ხშირად გამოიყენება თხევად სისტემებში და შეუძლია რთული სითხის სისტემების მეზოსკოპიული მოლეკულური დინამიკის აღბეჭდვა, როგორც მოლეკულური დინამიკის სიმულაციის ერთ-ერთი მეთოდი [122–126]. გარდა ამისა, DPD-ს შეუძლია უზრუნველყოს როგორც წონასწორობის თერმოდინამიკური თვისებები, ასევე დინამიური დეტალები და სტრუქტურული ცვლილებები დროთა განმავლობაში, რომელთა მიღება გაზომვებით ან რთულია, ან შეუძლებელია [127–128]. რეკვიგმა და სხვებმა წარმატებით გამოიყენეს DPD სიმულაციები ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების განშტოების ეფექტის შესასწავლად ინტერფეისის თვისებებზე [129]. ვანგმა და სხვებმა ასევე გამოიყენეს DPD მეთოდი, რომელიც შესანიშნავი ალტერნატივაა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების განშტოების ეფექტის შესასწავლად ინტერფეისის თვისებებზე დასაკვირვებლად სხვადასხვა ტემპერატურისა და მარილების პირობებში [126]. ლიმ და სხვებმა თავიანთი კვლევებით შეძლეს დინამიური დეკომპრესიის (DPD) მეთოდის გამოყენებით წყალი-ზეთში და ზეთი-წყალში ემულსიების ფაზური გადასვლებისა და სტაბილურობის ფაქტორების იდენტიფიცირება. [124]

მიკროემულსიების სიმულაციური კვლევები განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს, რადგან უზრუნველყოფს მეზომასშტაბურ ხედვას იმისა, თუ როგორ რეაგირებს მიკროემულსიის სტრუქტურა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ქცევა სხვადასხვა გარემო სტრესორზე. ასეთი მიდგომა იძლევა პროგნოზირების

შესაძლებლობას და ხელს უწყობს ფარმაცევტული პროდუქტების, ნავთობის აღდგენის ტექნოლოგიებისა და საფარებისათვის უფრო ეფექტური ემულსიფიცირებული სისტემების შექმნას. ამასთან, კომპიუტერული სიმულაციები წარმოჩენილია, როგორც ძლიერი ინსტრუმენტი ფორმულირების ოპტიმიზაციისთვის, რაც ამცირებს ფართომასშტაბიანი ლაბორატორიული კვლევების საჭიროებას.

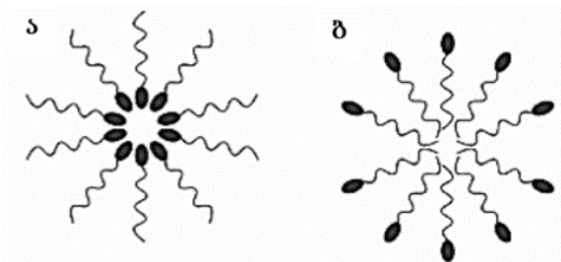
2.2.2 შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტრული გამტარობის თავისებურებები

შებრუნებული მიცელების ელექტროგამტარობის თავისებურებები გარკვეულწილად განსხვავდება პირდაპირი მიკროემულსიებისგან. აპოლარულ გარემოში ელექტრული მუხტების არსებობისადმი ინტერესი თავდაპირველად XX საუკუნის 40–50-იან წლებში ნავთობგადამამუშავებელ ინდუსტრიაში გაჩნდა. კლინკენბერგმა და ვან დერ მინემ [130] დაადგინეს, რომ მცირე რაოდენობით არსებული იონები, რომლებიც, სავარაუდოდ, კოროზიის შედეგად წარმოქმნილ მეტალის საპნებს წარმოადგენენ, ადსორბირდება ლითონის ზედაპირებზე. ხსნარის დინებისას წარმოიქმნება საპირისპიროდ დამუხტული იონები, რაც იწვევს ძლიერი ელექტრული ველების დაგროვებას. შემდგომში ეს ველები ნაპერწკლური განმუხტვის გზით იშლება, რაც ე.წ. ელექტროკინეტიკური აფეთქებების მიზეზი ხდება. თუმცა დადგინდა, რომ იონების მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იზრდება ნავთობპროდუქტების ელექტროგამტარობა, რაც, თავის მხრივ, ხელს უშლის მუხტის დაგროვებას და ამცირებს ელექტროკინეტიკური აფეთქებების ალბათობას.

მოგვიანებით, ნელსონმა და პინკმა [131,132] აჩვენეს, რომ აღნიშნული მუხტის მატარებელი ნაწილაკები წარმოადგენენ მეტალის საპნებით სტაბილიზებულ შებრუნებულ მიცელებს. სწორედ ამ აღმოჩენამ დაუდო საფუძველი შებრუნებული მიცელების ელექტროგამტარობის თავისებურებების სისტემურ კვლევას.

როგორც ვიცით, შებრუნებული მიცელები ზან-ების მონომერების აგრეგატებია, რომელთა პოლარული ნაწილები ბირთვშია განლაგებული, ხოლო არაპოლარული ნაწილები გარეთაა მიმართული, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზი 6.ა-ზე. ამ

სტრუქტურებს „უკუ“ მიცელებსაც უწოდებენ, რადგან ისინი მონომერის ორიენტაციის შებრუნებით ბაძავენ თავიანთ წყლიან ანალოგებს (ნახაზი 6. ბ).



ნახაზი 6. სქემატური გამოსახულება: ა) შებრუნებული მიცელა აპოლარულ გარემოში; ბ) პირადპირი მიცელა წყლიან გარემოში.

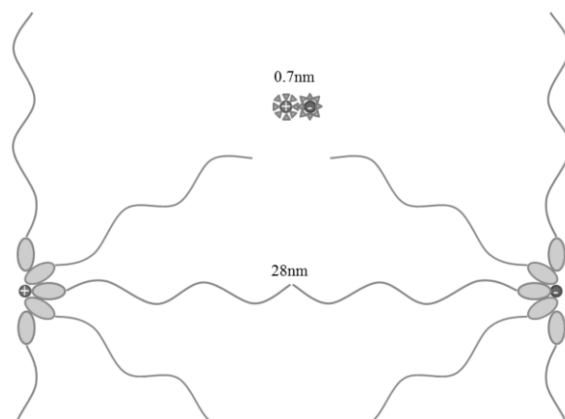
ამჟამად, წყალი/ზეთში შებრუნებული მიცელებს ინტენსიურად იყენებენ სხვადასხვა სფეროში: მეტალური ნანონაწილაკების და პოლიმერული ნაწილაკების სინთეზში[133], მემბრანული სინთეზში ულტრაგასუფთაებისთვის,[134] ცილის ექსტრაქციისა და გასუფთავებისთვის[135–137], სიბლანტის მოდიფიკატორებად ზეკრიტიკული CO₂ სისტემებისთვის[138–140] და კოლოიდური ნაწილაკების დასამუხტად[141–145]. დამუხტვის შემდეგ, კოლოიდური ნაწილაკები სტაბილურდება არაპოლარულ დისპერსიებში და შეიძლება გამოყენებულ იქნას საღებავებსა და მეღვინეობაში, მაგალითად, HP Indigo® პრინტერში[146], ასევე ელექტროფორეზულ ეკრანებში, როგორიცაა Amazon Kindle®, სადაც ისინი ილექება სასურველ ზედაპირზე ელექტრული ველების გამოყენებით.

დიდი ხანია მიმდინარეობს კამათი იმის შესახებ, შეიძლება თუ არა მუხტების არსებობა არაპოლარულ გარემოში ამ გამხსნელების უკიდურესად დაბალი დიელექტრიკული შეღწევადობის გამო[147]. არაპოლარულ გარემოში იონის სტაბილურობის რაოდენობრივი განსაზღვრისთვის გამოყენებული სიდიდეა ბიერუმის სიგრძე, λ_B , მანძილი, რომელზეც ორი იონის ელექტროსტატიკური მიზიდულობა უდრის სისტემაში არსებულ თერმულ ენერგიას, $k_B T$, და განისაზღვრება როგორც

$$\lambda_B = e^2 / 4\pi\epsilon\epsilon_0 k_B T \quad (1)$$

სადაც e არის ელემენტარული მუხტი, ϵ არის გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა, ϵ_0 არის ვაკუუმის დიელექტრიკული შეღწევადობა, k_B არის ბოლცმანის მუდმივა და T არის აბსოლუტური ტემპერატურა.

ბიერუმის სიგრძის დიდი მნიშვნელობები შეესაბამება ისეთ გარემოს, სადაც იონებს შეუძლიათ ერთმანეთის „აღქმა“ დიდ მანძილებზე. პირიქით, მცირე მნიშვნელობები დამახასიათებელია გარემოსთვის, სადაც მუხტი ეფექტურად არის ეკრანირებული და საპირისპირო მუხტის მქონე იონებს შეუძლიათ ერთმანეთთან ახლოს გადაადგილება რეკომბინაციის მაღალი რისკის გარეშე. შედარებისთვის, წყალში ბიერუმის სიგრძე დაახლოებით 0.7 ნმ-ს შეადგენს, მაშინ როდესაც არაპოლარულ გარემოში (დიელექტრიკული განვლადობა ≈ 2) ის მნიშვნელოვნად იზრდება და აღწევს დაახლოებით 28 ნმ-ს, რაც მასშტაბურად ნაჩვენებია ნახ. 7-ზე. წყლიან გარემოში იონის გარშემო მოწესრიგებული წყლის მოლეკულები (ჰიდრატაციული გარსი) უზრუნველყოფენ მუხტის ეფექტურ ეკრანირებას და ხელს უშლიან იონების რეკომბინაციას. არაპოლარულ გარემოში კი გამხსნელი პრაქტიკულად არ ურთიერთქმედებს იონებთან და ვერ უზრუნველყოფს ასეთ დაცვას. ამიტომ, სისტემის სტაბილიზაციისთვის აუცილებელია მესამე კომპონენტის დამატება, როგორცაა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება, რომელიც იონის გარშემო აყალიბებს ორგანიზებულ სტრუქტურას (მაგალითად, შებრუნებულ მიცელას) და უზრუნველყოფს იონების სივრცობრივ განცალკევებას.

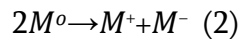


ნახაზი 7. ბიერუმის სიგრძეების მასშტაბური წარმოდგენა წყლიან (ზედა) და არაპოლარულ (ქვედა) გარემოში. [152]

გასაგები გახდა, რომ არაპოლარულ გარემოში მუხტების შესანარჩუნებლად აუცილებელია შებრუნებული მიცელების არსებობა. სწორედ ამიტომაც მნიშვნელოვანი მათი წარმოქმნის პროცესების გათვალისწინება. წყალხსნარში, როდესაც ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები მიაღწევენ შებრუნებული მიკროემულსიების მიცელაწარმოქმნის კრიტიკულ კონცენტრაციებს (CMC-მწკვ), მიცელები სპონტანურად და სწრაფად წარმოიქმნება. წყლის მოლეკულები, რომლებიც შეკავშირებული იყო ზან-ის კუდებთან, გამოცალკევდება მიცელიზაციის დროს, რაც იწვევს ენტროპიის მნიშვნელოვან ზრდას[140]. ეს ენტროპიული ეფექტი საკმარისად დიდია იმისათვის, რომ დაიძლიოს სისტემაში მოწესრიგებულობით გამოწვეული ენტროპიული დანაკარგი, ასევე დამუხტული „თავური“ ჯგუფების შეერთებით გამოწვეული ენთალპური ნახტომი. თუმცა, აპოლარულ გარემოში წყალი მხოლოდ მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების კუდები კარგად იხსნება ჰიდროფობურ გამხსნელში.

ეს ხელს უშლის იმავე ენტროპიულ ძალას, რომ გამოიწვიოს მიცელიზაცია აპოლარულ გარემოში. ზან-ების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად, ითვლება, რომ წარმოიქმნება პრე-მიცელარული აგრეგატები, რაც იწვევს მცირე რაოდენობის მუხტების სტაბილიზაციას[145]. როცა კონცენტრაცია აგრძელებს ზრდას, აგრეგატები იზრდება მწკვ-ს მიღწევამდე, რომლის დროსაც შებრუნებული მიცელები სრულად ყალიბდება. აპოლარულ სისტემებში მიცელიზაციის მამოძრავებელი ძალა ენთალპურია, რომლის დროსაც „თავური“ ჯგუფების დიპოლ-დიპოლური ურთიერთქმედებები აერთიანებს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მოლეკულების აგრეგატებს და საბოლოოდ შებრუნებული მიცელები ყალიბდება[146]. მწკვ-ს ქვემოთ, სადაც პრემიცელარული აგრეგატებია წარმოდგენილი, აღმოჩნდა, რომ ხსნარების გამტარობა ზან-ის კონცენტრაციის კვადრატული ფუნქციის ტოლია[143]. ეს დამოკიდებულება შეიძლება აიხსნას დისოციაციის რეაქციით, რომლის დროსაც იონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება, AB, დისოცირდება A^+ და B^- იონებად, რომლებიც შემდგომში სტაბილიზდებიან პრემიცელარული აგრეგატებით. თუმცა, მწკვ-ს მიღწევის შემდეგ, ხსნარების გამტარობა წრფივად იზრდება ზან-ის კონცენტრაციასთან ერთად[143,145,150]. ეს ქცევა აიხსნება დისპროპორცირების გამომწვევი სპონტანური

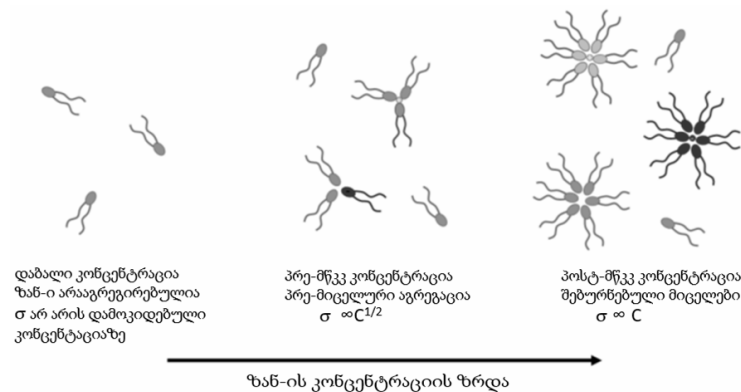
რყევებით, რომლის დროსაც ორი ნეიტრალური მიცელა, M^0 , ეჯახება და იშლება ორ, საპირისპიროდ დამუხტულ მიცელად, M^+ და M^- :



ამ მექანიზმით, გამტარობა, σ , გამოისახება როგორც $\sigma = e^2 C_0 \chi / 6\pi\eta R_H$ (3)

სადაც e არის ელემენტარული მუხტი, C_0 არის მიცელების საერთო კონცენტრაცია, χ არის დამუხტული მიცელების წილი, η არის ხსნარის სიბლანტე და R_H არის მიცელების ჰიდროდინამიკური რადიუსი.

ნახაზი 8. ასახავს კონცენტრაციის სამ რეჟიმს: მთლიანად გახსნილი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება, პრე-მიცელური აგრეგატები და სრულად ჩამოყალიბებული უკუ მიცელები.



ნახაზი 8. ზანის კონცენტრაციის სხვადასხვა რეგიონის სქემა აპოლარულ გარემოში. რეპროდ.[152]

ზან-ების მიერ ნაწილაკების ზედაპირებზე მინიჭებული მუხტი იზომება ელექტროფორეზული მობილურობით, მაგალითად, ფაზური ანალიზის სინათლის გაბნევით (PALS).[151] ნაწილაკები არა მხოლოდ იმუხტება, არამედ იზრდება სისტემის საერთო გამტარობა ნაწილაკების დამატებით. სისტემის გამტარობის ეს ზრდა მიუთითებს დამატებითი მუხტების წარმოქმნაზე ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებსა და ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების გამო, რაც გამორიცხავს დამუხტული მიცელების ადსორბციას ნაწილაკების ზედაპირზე.

წყალი მიცელის გულში: შებრუნებულ მიცელაში ჩასმულ წყალს სტრუქტურული წესრიგის ორი ტიპი აქვს: გარსთან ახლოს (მდებარეობს ზან-ის ჰიდროფილურ ნაწილთან ახლოს) და „წყლის ბირთვში“ [153]. პირველი მათგანი ხასიათდება უფრო

შეზღუდული დინამიკით, ვიდრე მეორე, რომელიც, თავის მხრივ, ნაკლებად მობილურია, ვიდრე თავისუფალი წყალი, რომელიც აგრეგატში არ არის ჩასმული. ეს განპირობებულია წყლის მოლეკულების დიპოლების ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედებით აგრეგატის დამუხტულ ზედაპირთან.

შებრუნებული მიცელების საშუალო კვადრატული დიპოლური მომენტი, რომელიც ახასიათებს მიცელებს შორის ურთიერთქმედებას, დამოკიდებულია a_0 -ის ტოლ აგრეგატულ რადიუსზე [154]. ნაჩვენებია, რომ $a_0=0.5\text{ნმ}$ -ით AOTNa შებრუნებული მიცელებისთვის შეინიშნება შემდეგი დამოკიდებულება:

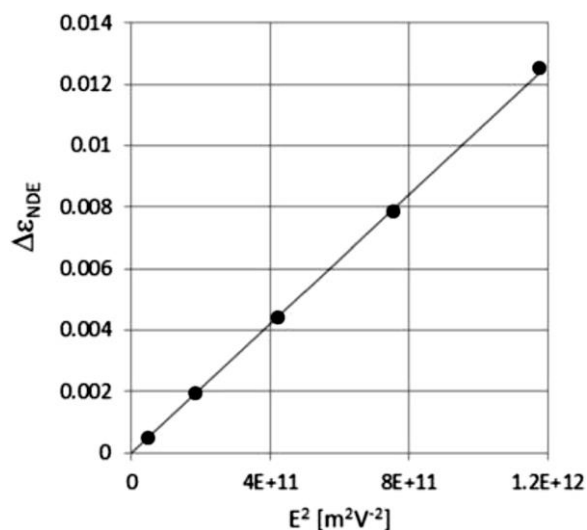
$$\langle P^2 \rangle = 0.22R^{2.5} \quad (4),$$

სადაც $\langle P^2 \rangle$ არის შებრუნებული მიცელის საშუალო კვადრატული დიპოლური მომენტი, R არის აგრეგატული რადიუსი.

[155] ნაშრომში მკვლევარებმა აღნიშნეს დიელექტრიკული შეღწევადობის (NDE) არაწრფივი ცვლილებები AOTNa/წყალი/იზოოქტანის სისტემის შებრუნებული მიცელებში გარე ელექტრული ველის მოდებისას. აღმოჩნდა, რომ დიელექტრიკული შეღწევადობის ზრდა

$$\Delta \epsilon_{NDE} = \epsilon_E - \epsilon_0, \quad (5)$$

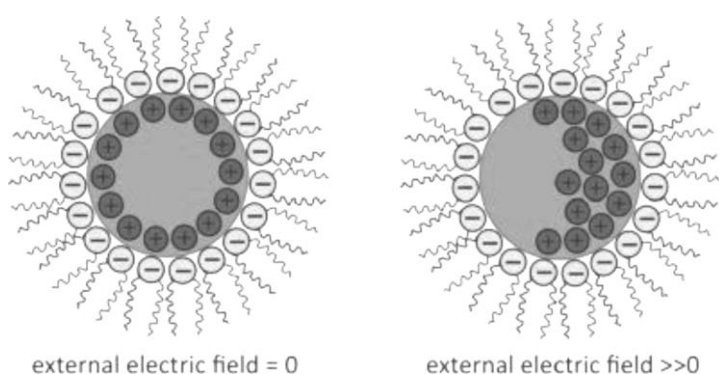
სადაც ϵ_E - ხსნარის დიელექტრული შეღწევადობაა გარე ელექტრულ ველში, ϵ_0 - ხსნარის დიელექტრული შეღწევადობა გარე ელექტრული ველების არარსებობისას, პირდაპირპროპორციულია გარე ელექტრული ველის ძალის კვადრატის (ნახაზი 9).



ნახაზი 9. ელექტრული შეღწევადობის ნამატის დამოკიდებულება გამოყენებული გარე ელექტრული ველის კვადრატზე [155].

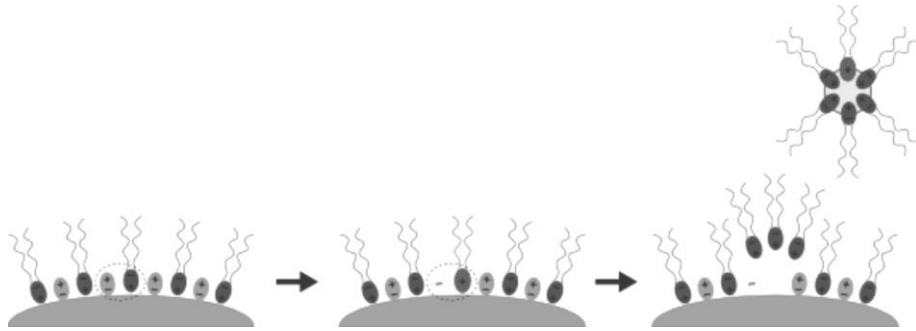
როგორც ავტორები ვარაუდობენ, ეს ფენომენი დაკავშირებულია AOTNa-ს მიერ წარმოქმნილი ნატრიუმის იონების გადანაწილებასთან (მიგრაციასთან) შებრუნებული მიცელის წყლიან ბირთვში, ელექტრული ველის სიმძლიერის მიმართულების მიხედვით.

გიგანტური მაკროდიპოლების წარმოქმნა შესაძლოა დაკავშირებული იყოს მიცელის ბირთვში მუხტების არათანაბარ გადანაწილებასთან (ნახაზი 10).



ნახაზი 10. გარე ელექტრული ველის თანაობისას მუხტების გადანაწილება [155].

აპოლარულ გარემოში ნაწილაკების დამუხტვის ფიზიკური მექანიზმი კვლავ საკამათო თემაა, [143] თუმცა ამჟამად ითვლება, რომ მჟავა-ტუტოვანი რეაქციები ხშირად წარმოადგენს აპოლარულ გარემოში დამუხტვის დომინანტურ მექანიზმს [153], რომელიც ფოუკსმა 1983 წელს შემოგვთავაზა, ამ მექანიზმის მიხედვით, ადსორბირებულ ზედაპირულად აქტიურ მოლეკულებს შეუძლიათ წარმოქმნან მჟავა-ტუტოვანი ადუქტები ნაწილაკის ზედაპირზე არსებული ფუნქციური ჯგუფებით. ეს ადუქტები შეიძლება დისოცირდეს, რაც იწვევს დამუხტული ზედაპირული ფუნქციური ჯგუფების და დამუხტული ზედაპირულად აქტიური იონების წარმოქმნას. შებრუნებულ მიცელას შეუძლია დამუხტული ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლეკულის შერწყმა და სტაბილიზაცია, რაც ნაწილაკის ზედაპირზე ჯამურ მუხტს აჩენს. ზედაპირზე არსებული [156-160] ეს დამუხტული ფუნქციური ჯგუფი შემდეგ შეიძლება სტაბილიზდეს ჰემი-მიცელით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზ 11-ზე.



ნახაზი 11. ნაწილაკების დამუხტვის მექანიზმის დეტალური სქემა.[152]

რამდენიმე კვლევამ აჩვენა, რომ თუ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება ნაწილაკის ზედაპირზე არსებულ ფუნქციურ ჯგუფებზე უფრო მჭავა ბუნებისაა, ნაწილაკები დადებითად იმუხტება, ხოლო როცა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება ნაწილაკის ზედაპირის ჯგუფებზე უფრო ფუძეა, მაშინ - უარყოფითად. შემუშავებულია „**ეფექტური pH**“-ის კონცეფცია არაპოლარულ გარემოში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ქცევის შესადარებლად მათ წყალხსნარ ანალოგებთან. [152]

წყლის შემცველობის გვალენა ელგამტარობაზე. შებრუნებულ მიკროემულსიურ სისტემებში მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ ნაწილაკისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ქიმიური ფუნქციები, არამედ **წყლის რაოდენობა და მდებარეობაც.** გამხსნელში შეიძლება გახსნილი იყოს წყლის მცირე რაოდენობა, მაგრამ ეს კონცენტრაციები, როგორც წესი, 30 ppm-ზე ნაკლებია. ჰიგროსკოპიული ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისა და ნაწილაკების დამატება სისტემაში წყლის შემცველობას 1200 ppm-მდე ზრდის. მიჰორისა და კოლეგების მიერ ჩატარებულ კვლევაში[152] გამოკვლეული იქნა OLOA-ს ნაწილაკების დამუხტვის ქცევა Isopar-L-ში გაფანტულ სილიციუმის ნაწილაკებზე. შესწავლილი იქნა ოთხი დისპერსია სველი და გამომშრალი OLOA ხსნარებისა და სველი და გამომშრალი სილიციუმის ნაწილაკების კომბინაციების გამოყენებით, რათა დაედგინათ წყლის გავლენა OLOA-ს მიერ ნაწილაკების დამუხტვაზე. გაიზომა წყლის შემცველობა, ნაწილაკების ელექტროფორეზული მობილურობა და სისტემის გამტარობა.

მიცელურ მუხტსა და ნაწილაკების მუხტზე წყლის გავლენის შესწავლისთვის, მწკვზე მაღალ კონცენტრაციაზე გამტარობები გაიზომა კონდუქტომეტრის გამოყენებით. შედეგებმა აჩვენა, რომ, ნაწილაკების მუდმივი კონცენტრაციისას, შებრუნებული მიცელარული ხსნარის წყლის შემცველობის გაზრდა მნიშვნელოვნად ზრდის მის გამტარობას. შებრუნებული მიცელების უფრო დიდი პოლარული ბირთვები უფრო ხელსაყრელ გარემოს ქმნის მუხტების სტაბილიზაციისა და, შესაბამისად, დამუხტვის პროცესების ზრდისთვის.

ამ სისტემებში ნაწილაკების დამატება, სავარაუდოდ, გამოიწვევს წყლის ნაწილის მიცელების ზედაპირებზე გადანაცვლებას. წყლის ადგილმდებარეობის დასადგენად, იქნება ეს შებრუნებული მიცელებში თუ ნაწილაკების ზედაპირებზე, სისტემების წყლის შემცველობა გაიზომა დისპერსიის ცენტრიფუგირებამდე და მის შემდეგ. ნაწილაკების ცენტრიფუგირების შემდეგ, შესაძლებელი გახდა ზედა ფენაში წყლის შემცველობის გაზომვა, შებრუნებულ მიცელებში დარჩენილი წყლის რაოდენობის განსაზღვრისთვის. შემდეგ წყლის წილი ნაწილაკების ზედაპირებზე შეიძლება გამოითვალოს სისტემის მთლიანი წყლის შემცველობის ფუნქციის სახით.

ამავე კვლევაში **ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ყველაზე მაღალი კონცენტრაციების** დროს წყლის შემცველობისა და ზანის კონცენტრაციის ზრდამ გამოიწვია ნაწილაკების მობილობის შემცირება, რადგან ამ რეგიონში დომინირებს ელექტროსტატიკური ეკრანირება დამუხტული შებრუნებული მიცელების მიერ. მათი როგორც რაოდენობის, ასევე ბირთვის ზომის გაზრდა ზრდის მუხტის დისპროპორცირების რეაქციების ალბათობას და, შესაბამისად, მასაში მაეკრანირებელი მუხტების რაოდენობას. თუმცა, ამ კვლევამ დაასკვნა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ მნიშვნელოვანია დამუხტულ აპოლარულ დისპერსიებში წყლის შემცველობის გათვალისწინება, მისი გავლენა ნაწილაკების მაქსიმალურ მობილურობაზე შედარებით უმნიშვნელოა.[152]

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების გამტარობის მრუდების დახრილობა მნიშვნელოვანია ნაწილაკების დამუხტვის ქცევის პროგნოზირებისთვის, გაცეკისა და ბერგის კვლევამ [161] გამოავლინა სამი Span ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნაწილაკების დამუხტვის ქცევა, რომლებსაც

ყველას ჰქონდათ ერთი და იგივე ფუნქციური თავური ჯგუფი, მაგრამ განსხვავდებოდნენ კუდების სიგრძითა და რაოდენობით. ეს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები განსხვავდებიან თავიანთი ჰიდროფილურობით, რომელიც რაოდენობრივად განისაზღვრება პარამეტრით, რომელიც ცნობილია როგორც **ჰიდროფილურ-ლიპოფილური ბალანსი (HLB)**. HLB განისაზღვრება, როგორც მოლეკულის ჰიდროფილური ნაწილის მოლეკულური წონის 20-ჯერ გაყოფილი მის მთლიან მოლეკულურ წონაზე. ამიტომ, რაც უფრო ლიპოფილურია ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება, მით უფრო დაბალია მისი HLB მნიშვნელობა. შესწავლილი იქნა სამი Span ტიპის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება: Span 20, 80 და 85, HLB მნიშვნელობებით, შესაბამისად, 8.6, 4.3 და 1.8. ითვლებოდა, რომ რაც უფრო მაღალია HLB მნიშვნელობა, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების უფრო მაღალი ჰიდროფილურობის გამო, მით უფრო დიდი უნდა იყოს შებრუნებული მიცელის პოლარული ბირთვი. სამივე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ხსნარების გამტარობა გაიზომა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების კონცენტრაციის ფუნქციის მიხედვით. Span 20-ს, რომელსაც ყველაზე მაღალი HLB-ით, ყველაზე მაღალი გამტარობა ჰქონდა სამ Span ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს შორის, ხოლო Span 85-ს, რომელსაც ყველაზე დაბალი HLB-ით, ჰქონდა ყველაზე დაბალი გამტარობა. ეს მიუთითებს, რომ უფრო მაღალი HLB-ის მქონე ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს შებრუნებული მიცელის უფრო დიდი ზომის ბირთვი აქვთ. შებრუნებული მიცელის ბირთვის ზომის ზრდასთან ერთად, დისპროპორციულობის ალბათობა იზრდება, რაც სისტემაში მუხტის და გამტარობის ზრდას იწვევს. დამუხტვის მრუდების დახრილობა იზრდებოდა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების HLB-ის ზრდასთან ერთად.[161]

ამრიგად, შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტროგამტარობა, როგორც წესი, უფრო დაბალია პირდაპირ მიკროემულსიებთან შედარებით, რაც განპირობებულია მათი სტრუქტურული და შემადგენლობითი თავისებურებებით: წყლის დაბალი შემცველობით და, შესაბამისად, ელექტრული ველის მიმართ შედარებით დაბალი მგრძნობელობით, აგრეთვე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისა (ზან) და თანაზანების როლით, ტემპერატურის გავლენით და იონური თუ არაიონური დანამატების არსებობით.

ამასთანავე, შეზღუდული მიკროემულსიური სისტემები ხასიათდება ელექტროგამტარობის მკვეთრი ცვლილებებით, კერძოდ — **ელექტრული პერკოლაციის** მოვლენით, რომელიც მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ზან/თანაზანის ტიპსა და კონცენტრაციაზე, წყლის შემცველობაზე, დანამატების ბუნებასა და ტემპერატურაზე.

სწორედ ამ ფაქტორების გავლენის სისტემური შესწავლა წარმოადგენს შეზღუდული მიკროემულსიების სტრუქტურისა და დინამიკის ღრმა გააზრების საფუძველს და განსაზღვრავს წინამდებარე ნაშრომის ექსპერიმენტული ნაწილის ძირითად მიზანს.

2.2.3 პერკოლაცია. შეზღუდულ მიკროემულსიებში ელექტრული პერკოლაციის პროცესზე სხვადასხვა დანამატების გავლენა

მიცელარული ხსნარების **ელ-ექტროგამტარობა** მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტია ამ სისტემების შესწავლისათვის. მაგალითად, პირდაპირი მიკროემულსიები იონების თანაობისას ხასიათდებიან რეგისტრირებისათვის საკმაო სიდიდის ელ-გამტარობით. შეზღუდული მიკროემულსიებისთვის, სადაც მიცელები განაწილებულია არაპოლარულ ფაზაში, დამუხტული ნაწილაკები მოთავსებულია მხოლოდ მიცელათა გულში არსებულ წყლის გულში და ეს ხელს უშლის მუხტის გადატანას ხსნარში. ელექტრული გამტარობის გაზომვები მნიშვნელოვანია მიკროემულსიური გამტარობის თეორიული მოდელების შესამოწმებლად.

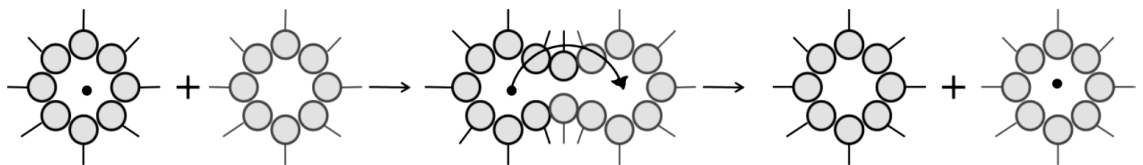
შეზღუდული მიკროემულსიების ელექტრული გამტარობა განსაკუთრებულად მგრძნობიარეა **წვეთების აგრეგაციის** მიმართ [162]. 1978 წელს პირველად გამოქვეყნდა შრომა, სადაც აღწერილი იყო ელგამტარობის მკვეთრი ზრდა ანუ **ელექტრული პერკოლაციის მოვლენა** წვეთის მოცულობითი წილის ზრდით წყალი/ზეთი მიკროემულსიაში. [163].

ელექტრული პერკოლაციის პროცესის ბუნების და საფუძვლების შესწავლა ინტენსიურად მიმდინარეობს მთელს მსოფლიოში.

მიკროემულსიებში დისპერსული ფაზის (წყლის) მოცულობითი წილის ან ზან-ის კონცენტრაციის გაზრდით მუდმივ ტემპერატურაზე ან მუდმივი შედგენილობის დროს ტემპერატურის გაზრდით, გამტარობა შეიძლება რამდენიმე ასეულჯერ (100-

1000 ჯერ) გაიზარდოს, ეს მოვლენა ელგამტარობის პერკოლაციის სახელითაა ცნობილი. შებრუნებული მიცელების შინაგანი დინამიკის კვლევა მჭიდროდაა დაკავშირებული ამ მოვლენასთან.

ელექტროგამტარობის კვლევა კონდუქტომეტრული მეთოდით გამოირჩევა მოხერხებულობით და ხელმისაწვდომობით, ასევე ინფორმაციულობით შებრუნებული მიცელების და მიკროემულსიების სტრუქტურული და ფაზური მოვლენების შესწავლისთვის. ამ მეთოდით ერთერთი ასეთი სისტემისთვის განისაზღვრა პერკოლაციის ზღურბლი, რომლის არსიც მდგომარეობს W-ს განსაზღვრულ მნიშვნელობაზე ელ-გამტარობის ნახტომისებურ ზრდაში [100]. გამტარობის ზრდა შეიძლება აიხსნას ორი შესაძლო მექანიზმით, კერძოდ იონების „გადახტომით“ წვეთიდან წვეთზე (ნახაზი 12) დისპერსული ფაზის მოცულობითი ფრაქციის გაზრდისას და /ან წვეთების შეჯახების დროს წვეთების შემადგენლობის მიმოცვლით, რაც ცნობილია, როგორც, „შერწყმის, მასის გადატანის და მასის მიმოცვლის“ მექანიზმი [32–36]. :



ნახაზი 12. მუხტის გადატანის მექანიზმის ილუსტრაცია [100].

ზოგიერთი მკვლევარის მოსაზრების თანახმად, გამტარობის უეცარი ზრდა გამოწვეულია სისტემის წყალი/ზეთი დისპერსიიდან ურთიერთუწყვეტ მიკროემულსიაში მკვეთრი გადასვლით. ეს მექანიზმი ცნობილია, როგორც „სტატიკური“(უძრავი) პერკოლაციური მოდელი [100].

„დინამიური“ პერკოლაციური მოდელის თანახმად, ელექტროგამტარობის უეცარი ზრდა დაკავშირებულია წყლის წვეთების კლასტერების წარმოქმნასთან, რომლებიც უზრუნველყოფენ მუხტის ეფექტურ გადატანას [100].

დღეისათვის ყველაზე გავრცელებული თეორიული მოდელის მიხედვით, რომელიც ეფუძნება მიკროემულსიების დინამიკურ ბუნებას [162] არსებობს ორი ფსევდოფაზა: ერთი, სადაც მუხტის ტრანსპორტირება ხდება მიკროემულსიური წვეთების დიფუზიით და მეორე ფაზა, სადაც ცვლილება ხდება შებრუნებულ

მიცელურ კლასტერებში თავად მუხტის მატარებლის დიფუზიის შედეგად. ამ თეორიის მიხედვით პერკოლაციის ასახსნელად მოწოდებულია სტატიკური და დინამიკური პერკოლაციის ცნება. **სტატიკური პერკოლაცია** უკავშირდება ურთიერთუწყვეტ მიკროემულსიურ სტრუქტურას, სადაც ელექტროგამტარობის მკვეთრი ზრდა განპირობებულია იონების (ძირითადად კონტრიონების, ხოლო ნაკლებად — ზან-ის იონების) გადაადგილებით წარმოქმნილ უწყვეტ წყლის არხებში. **დინამიკური პერკოლაცია** კი ასახავს სისტემის არასტაციონარულ ხასიათს და დაკავშირებულია წვეთების სწრაფ შერწყმა-დაყოფის პროცესებთან. ამ დროს წყლის გარდამავალი არხები წარმოიქმნება წვეთების შეჯახებისა და ზედაპირული ფენის ლოკალური დარღვევის შედეგად და მუხტის გადატანა ძირითადად ხორციელდება კონტრიონების მოძრაობით ამ დროებითი არხების გასწვრივ. დინამიკური პერკოლაციის მოდელის მიხედვით, მთლიანი პროცესი შეიძლება განიხილებოდეს, როგორც ორი წვეთის დიფუზიური ურთიერთქმედება, რომელსაც ახლავს დროებითი წყვილის ფორმირება და მუხტის გადაცემა მათ შორის [162].

დანამატების გვალენა მიკროემულსიების ელგამტარობაზე. ბოლო წლებში მრავალი კვლევა ტარდებოდა წყალი/AOT/ზეთი სისტემების ელექტროგამტარობაზე სხვადასხვა დანამატებისა (გარდა ზან-ისა) და ასევე სხვა ფაქტორების (როგორც მოცულობითი, ისე ტემპერატურით ინდუცირებული) გავლენის შესასწავლად, რამდენადაც ამ სისტემებში წარმოიქმნება მიცელები სხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გარეშე.

აღმოჩნდა, რომ ზოგიერთი დანამატი იწვევს პერკოლაციის ადრე დადგომას (დამხმარე ეფექტი) ან შეგვიანებას (საწინააღმდეგო ეფექტი); ზოგიერთი დანამატი კი საერთოდ აქრობს გამტარობას.[163]

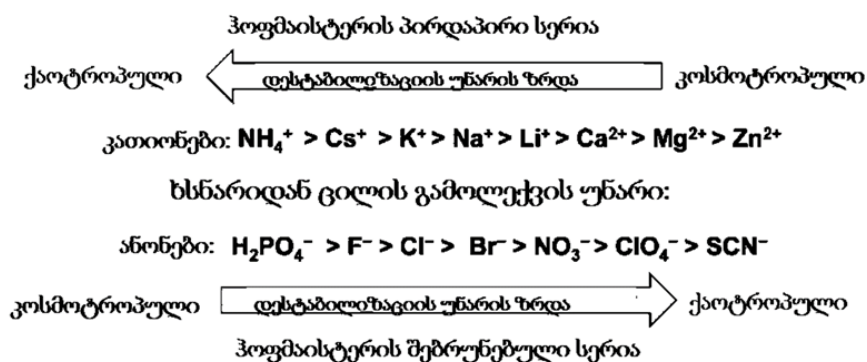
კონდუქტომეტრული კვლევებით შესაძლებელია დადგინდეს ის ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მასის გადატანაზე შებრუნებულ მიცელებში, ასევე შესწავლილ იქნას მცირე რაოდენობის დანამატების გავლენა ამ სისტემების ქცევაზე და თვისებებზე [165-168].

მიმდინარეობს სისტემური კვლევები პერკოლაციის ზღურბლის და პერკოლაციის აქტივაციის ენერგიის განსაზღვრის მიზნით, ასევე კლასტერიზაციის ენერგეტიკისა

და სიდიდის, პოლიდისპერსიულობისა და სხვადასხვა ტიპის დანამატების არსებობისას

წყალი/AOT/ზეთი სისტემის დიფუზიის კოეფიციენტის დასადგენად [167-171].

საინტერესოა აგრეთვე სვადასხვა ტიპის იონური დანამატების გავლენა მიკროემულსიების ელგამტარობაზე. იონები წყლის სტრუქტურის ცვლილებაზე დიდი გავლენას ახდენენ, რაც ასახულია ჰოფმაისტერის რიგის მიხედვით (ნახაზი 13). ჰოფმაისტერმა წყლის სტრუქტურაზე გავლენის მიხედვით იონები დაყო ორ ჯგუფად, კოსმოტროპებად - სტრუქტურის მომწესრიგებლები, (ძლიერ ჰიდრატირდებიან, არიან მასტაბილიზატორები, აქვთ გამოლექვის უნარი) და ქაოტროპებად, სტრუქტურის დამრღვევებად, რომლებიც ცილების დესტაბილიზაციას ახდენენ. ჰოფმაისტერის რიგი დამოკიდებულია არა იონის ზომაზე, არამედ იონების კონცენტრაციაზე.



ნახაზი 13. ჰოფმაისტერის სერიები კათიონებისა და ანიონებისთვის

კოლინზის მიხედვით, ანიონებს სტრუქტურაზე უფრო ძლიერი გავლენა აქვთ, ვიდრე კათიონებს [185]. წყლის დიპოლური მოლეკულა ასიმეტრიულია, ცენტრი უფრო ახლოსაა უარყოფით პოლუსთან, რის გამოც ანიონები უფრო ძლიერი ელექტროსტატიკური მიზიდულობით ხასიათდებიან. არსებობს არაიონური კოსმოტროპები და ქაოტროპები, რომლებსაც მუხტი არ გააჩნიათ, ძლიერი წყალბადური ბმებით უკავშრდებიან წყალს, რაც ხელს უწყობს წყლის დიფუზიის შემცირებას. (მაგალითად, არაიონური კოსმოტროპია გლუკოზა, ქაოტროპი - შარდოვანა.)

ნორმალურ პირობებში წყალი/ზეთში მიკროემულსიას ახასიათებს ძალიან დაბალი ხვედრითი გამტარობა ($0.01-0.1 \mu S/cm^{-1}$). გამტარობის ეს მნიშვნელობა ბევრად მაღალია ალკანების გამტარობაზე, რომელიც წარმოადგენს წყალი/ზეთში მიკროემულსიების მთავარ შემადგენელ კომპონენტს. ეს სხვაობა ამტკიცებს, რომ მიკროემულსიებს შეუძლიათ მუხტების ტრანსპორტი. დისპერგირებული ფაზის გარკვეული მოცულობის მიღწევის შემდეგ გამტარობა მოულოდნელად იზრდება და ღებულობს დაახლოებით ოთხი რიგით მაღალ მნიშვნელობას, რომელიც აღემატება წყალი/ზეთში მიკროემულსიებისათვის დამახასიათებელ ელგამტარობის მნიშვნელობას. ეს ზრდა რჩება უცვლელი მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ და არის გაცილებით მაღალი, ვიდრე იყო მიკროემულსიის გამტარობა ამ გარდაქმნამდე. ეს ფენომენი ანუ ელექტრული პერკოლაცია, შეინიშნება წყლის რაოდენობის ან ტემპერატურის ცვლილებით მიკროემულსიის ფიქსირებულ შემადგენლობაზე. შესაბამისად არსებობს ზღვრული წყალი-ზან-ი თანაფარდობის პერკოლაცია (W_p) და ზღვრული ტემპერატურის პერკოლაცია (T_p), ამ მონაცემების მნიშვნელობები იცვლება მიკროემულსიის შედგენილობის, ტემპერატურის ცვლილების და დანამატების მიხედვით [162]. სხვადასხვა კვლევით დადგენილია, რომ მიკროემულსიებში გამტარობის პერკოლაცია **წვეთების კლასტერებად გაერთიანების** შედეგია. წყლის დაბალ შემცველობაზე ინდივიდუალური წვეთები ინარჩუნებენ დაბალ გამტარობას.

წყლის შემცველობის ზრდით გამტარობა იზრდება და წვეთები ერთიანდება კლასტერებად და ხდება იონების დიფუზია ან წვეთების შემცველობის მიმოცვლა და წყლის ზღვრულ შემცველობაზე ხდება უწყვეტი პერკოლაციური წვეთების წარმოქმნა. ელექტრული პერკოლაციის ზღვრული მნიშვნელობა შეესაბამება პირველი ღია უწყვეტი კლასტერის წარმოქმნას [162].

როგორც უკვე აღინიშნა, ელექტრული გამტარობის პერკოლაციაზე გავლენას ახდენს მიკროემულსიის შედგენილობა, ტემპერატურა და დანამატების არსებობა. AOT-ის შებრუნებულ მიცელებში ელექტრული გამტარობის პერკოლაციაზე გავლენას ახდენს მასში სხვადასხვა ტიპის და რაოდენობის არაიონური ზან-ების დამატება, გამხსნელის ბუნება და სხვადასხვა დანამატი [167-175].

კონდუქტომეტრული მეთოდით მიკროემულსიის გამტარობის ცვლილების შესწავლის დროს გამტარობის წყალი-ზან-ი თანაფარდობაზე დამოკიდებულების გრაფიკში იკვეთება ორი უბანი. ძირითად შემთხვევაში პირველ უბანში წყლის შემცველობის ზრდით ხდება გამტარობის ზრდა მაქსიმუმის მიღწევის შემდეგ, სადაც $W=W_{\text{მაქს}}$, წყლის შემცველობის შემდგომი ზრდით გამტარობა მცირდება, შემდეგ კი წყლის გარკვეულ რაოდენობაზე ხდება გამტარობის მკვეთრი ზრდა, რომელიც შეესაბამება მეორე უბანს ანუ პერკოლაციას [169].

AOT/არაიონური ზან/წყალი/ნ-ჰეპტანის შერეული შებრუნებული მიცელების შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ $W_{\text{მაქს}}$ -ის მნიშვნელობა ზან-ის შედგენილობის ფუნქციაა. როდესაც AOT და არაიონური ზან-ის თანაფარდობა ფიქსირებულია, $W_{\text{მაქს}}$ მნიშვნელობა მიიწევს დაბალი W -სკენ არაიონური ზან-ის პოლიოქსიეთილენური ჯაჭვის ზრდასთან ერთად. მეორეს მხრივ, როცა შერჩეულია არაიონური ზან, $W_{\text{მაქს}}$ მნიშვნელობა მიიწევს დაბალი W -სკენ არაიონური ზან-ის შემცველობის ზრდით. $W_{\text{მაქს}}$ მნიშვნელობის ახსნა მოხდა შემდეგნაირად: ზან-ის მუდმივი კონცენტრაციის პირობებში შებრუნებული მიცელების მაქსიმალური გამტარობა ფიქსირდება, როცა წვეთის ჰიდროდინამიკური რადიუსი ($r_{\text{მაქს}}$) 1,5-ჯერ აღემატება ფაზათაშორისი ფენის სისქეს, რომელიც თავის მხრივ მოიცავს ნახშირწყალბადურ ჯაჭვს, დამუხტულ პოლარულ თავურ ჯგუფს, საწინააღმდეგო იონებს და მჭიდროდ ბმულ წყალს. აქედან გამომდინარე, ყველა ფაქტორი, რომელიც გაზრდის ჰიდროდინამიკურ რადიუსს, გამოიწვევს მაქსიმალური რადიუსის მიღწევას დაბალ W -ზე. ჰიდროდინამიური რადიუსი მჭიდრო კავშირშია აგრეგატების წარმომქმნელ ეფექტური ჩალაგების პარამეტრთან [100].

გამოთვლის მიხედვით არაიონური ზან-ების ჩალაგების პარამეტრი მცირდება პოლიოქსიეთილენური ჯაჭვის ზრდით და უფრო ნაკლებია, ვიდრე ანიონური AOT-სთვის. ფორმულიდან გამომდინარე, არაიონური ზან-ების შემცველობის გაზრდით და ოქსიეთილენური ჯაჭვის სიგრძის ზრდით, შერეული მიცელების ჩალაგების პარამეტრი შემცირდება, რაც გამოიწვევს ჰიდროდინამიკური რადიუსის შემცირებას. ეს შედეგები დადასტურებულია DLS კვლევებით, რაც კარგად ხსნის ზემოთ მოცემულ შედეგებს და $W_{\text{მაქს}}$ ფიზიკურ არსს. AOT/წყალი/ნ-

ჰეპტანის სისტემაზე არაიონური ზან-ის დამატებით მცირდება $W_{\text{მაქს}}$ და მისი მნიშვნელობა გადაწეულია მცირე W -სკენ არაიონური ზან-ის შემცველობის და პოლიოქსიეთილენური ჯაჭვის სიგრძის შემცირებით.

მიცელის ჰიდროდინამიკური რადიუსის ზრდით თავდაპირველად ელექტრული გამტარობა იზრდება, თუმცა $W_{\text{მაქს}}$ -ის შემდეგ, როდესაც მიიღწევა $I_{\text{მაქს}}$, იწყება გამტარობის შემცირება, თუმცა წყლის რაოდენობის ზრდით რადიუსი ისევ იზრდება. არაიონური ზან-ის შემცველობის და ოქსიეთილენური ჯაჭვის სიგრძის ზრდას აქვს განსხვავებული ეფექტი შეზღუდულ მიცელურ სისტემაზე განსხვავებული W -ის დროს.

ამავე ნაშრომში შესწავლილია განსხვავებული კონცენტრაციის ნატრიუმის ქლორიდის გავლენა. ნატრიუმის ქლორიდის კონცენტრაციის ზრდით $W_{\text{მაქს}}$ გადანაცვლებულია მაღალი W -სკენ. დინამიკური სინათლის განბნევის მეთოდით მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ არაიონური ზან-ების დანამატებისაგან განსხვავებით, ნატრიუმის ქლორიდის დამატება ამცირებს წვეთის რადიუსს და ეს ეფექტი უფრო მეტად მჟღავნდება ნატრიუმის ქლორიდის ხსნარის კონცენტრაციის ზრდით.

ამის ახსნა შესაძლებელია იმით, რომ ელექტროლიტის დამატება ამცირებს განზიდვას AOT-ის თავურ ჯგუფებს შორის და a პარამეტრს, შესაბამისად იზრდება ჩალაგების პარამეტრი V/a_{HL} და მცირდება წვეთის რადიუსი. აქედან გამომდინარე, შესაძლებელია დასკვნის გაკეთება r მაქსიმუმის ფიზიკური არსის გათვალისწინებით, სოლუბილიზირებული ელექტროლიტი $W_{\text{მაქს}}$ -ს წაანაცვლებს მაღალი W -სკენ, შეამცირებს სისტემის გამტარობას დაბალ W -ზე, მაგრამ გაზრდის მაღალ W -ზე. გამტარობაზე ელექტროლიტის და არაიონური ზან-ების დანამატების განსხვავებული ეფექტი ძირითადად აიხსნება შეზღუდული მიცელური წვეთების რადიუსზე მათი განსხვავებული გავლენით [169]. წვეთის ზან-ისმონოშრის სტრუქტურა გავლენას ახდენს შეზღუდული მიცელების ელექტრულ გამტარობაზე.

შერეული მიცელებისათვის, რომლებიც მიღებულია AOT-ის და Brij-30-სგან, გამტარობის მაქსიმუმი მცირდება AOT-ის შემცველობის შემცირებით. ეს

გამოწვეულია იმით, რომ იონური ზან-ის რაოდენობის შემცირებით დისოცირებული ნატრიუმის იონების აბსოლუტური რაოდენობა მცირდება. AOT-სა და არაიონური ზან-ების შერეული შებრუნებული მიცელური სისტემებისათვის მუდმივ W -ზე სისტემა, რომელიც შეიცავს არაიონურ ზან-ს დიდი EO ჯგუფით, ავლენს მაღალ გამტარობას, რაც ასევე აიხსნება რადიუსის ცვლილებით.

კიდევ ერთ ფაქტორად გვევლინება არაიონური ზან-ების დამატება, რომელიც ამცირებს იონური ზან-ის AOT ჩალაგების სიმკვრივეს, რაც ზრდის AOT-ის თავური ჯგუფების დისოციაციის ხარისხს და წვეთების მუხტს [169].

შერეული შებრუნებული მიცელების სოლუბილიზაციის ტევადობაზე გავლენას ახდენს მასში სხვადასხვა ზან-ების მოლური თანაფარდობა. AOT/იზოოქტანის სისტემაში პირველ ეტაპზე შეისწავლეს სოლუბილიზაციის ხარისხი (ტევადობა) [167]. როგორც აღმოჩნდა, ამ სისტემაში სხვადასხვა ბუნების არაიონური ზან-ების დამატება ცვლის სოლუბილიზაციის ტევადობას, კერძოდ დიდი თავური ჯგუფების

არაიონური ზან-ების დამატება (Brij-30; Brij-35; Brij-56; Brij-58, Brij-76; Brij-78) ამცირებს W -ს მნიშვნელობას, რომელზეც ხდება ფაზათა გაყოფა, მაშინ როცა პატარა თავური ჯგუფების შემცველი Brij-ების დამატება (Brij-52 და Brij-72) იგივე სისტემაზე ზრდის სოლუბილიზაციის ტევადობას. Brij-ები დიდი თავური ჯგუფებით ზრდის თხევადობას და ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედებას, მაშინ როცა მცირე თავური ჯგუფების ზან-ები ამცირებენ ორივეს. კონდუქტომეტრული კვლევებით გამოვლინდა, რომ AOT/იზოოქტანი/წყალი სისტემაში ზღვრული პერკოლაციაა $W_p=44.6$. დიდი თავური ჯგუფების მქონე Brij-ების დამატებით ზღვრული პერკოლაციის მნიშვნელობა მცირდება, ხოლო პატარა თავური ჯგუფების შემცველი Brij-ების დამატებით პერკოლაცია ფერხდება. პერკოლაციის წერტილში ერთეული წვეთებიდან ხდება შეერთებული წვეთების მიკროსტრუქტურის წარმოქმნა, იზრდება ნაწილაკთა შორის ურთიერთქმედება, რასაც საბოლოოდ ახლავს ემულსიფიკაცია და ფაზათა გაყოფა. რაც უფრო მეტია არაიონური ზან-ის თავური ჯგუფების ფართობი, წვეთის რადიუსი არის უფრო მეტი და შესაბამისად W_p -ს მნიშვნელობა იქნება უფრო ნაკლები. ასევე აღსანიშნავია, რომ არაიონური ზან-ები ერთნაირი

თავური ჯგუფებით, მაგრამ უფრო გრძელი მეთილენური ჯაჭვით, ზრდიან Wp-ს. ცნობილია, რომ წვეთების კოალესცენციის დროს ზეთის მოლეკულები შორდება ზედაპირს. რაც უფრო ადვილად ხდება მათი მოშორება, მით უფრო ადვილად ხდება წვეთების შეერთება და Wp-ს მნიშვნელობა მცირდება. შესაბამისად, გრძელი ნახშირწყალბადური ჯაჭვის შემცველ არაიონურ ზან-ებში ადვილად ხდება ზეთის შეღწევა და შესაბამისად მისი მოშორება რთულდება, რაც იწვევს Wp-ს ზრდას [167].

AOT-ის შებრუნებულ მიცელებში დისპერგირებული წყალი შემოსაზღვრულია AOT-ის მოლეკულებით. წყლის დაბალ შემცველობისას სოლუბილიზირებული წყლის მოლეკულები მჭიდროდაა ასოცირებული ნატრიუმის იონებთან და AOT-ის თავურ ჯგუფებთან და მათი ძვრადობა შეზღუდულია. ასეთ პირობებში თავისუფალი წყლის რაოდენობა მცირეა და არ იქმნება საკმარისი გარემო ჰიდრატირებული საწინააღმდეგო იონების ეფექტური დიფუზიისთვის.

ამასთან, წვეთებს შეუძლიათ გადაიტანონ ჭარბი მუხტი, რომელიც წარმოიქმნება მუხტის სპონტანური ფლუქტუაციების შედეგად, წვეთების შიგთავსის (წყალი და საწინააღმდეგო იონები) მიმოცვლისას. დამუხტული წვეთების გადაადგილება ელექტრულ ველში განაპირობებს დაბალ ელექტროგამტარობას.

მუხტის ფლუქტუაციის მოდელის მიხედვით, სისტემის ელექტროგამტარობა განისაზღვრება ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო ეფექტის კონკურენციით [175].

როდესაც წყლის შემცველობა იზრდება და აღემატება ზან-ის თავური ჯგუფებისა და საწინააღმდეგო იონების ჰიდრატაციისათვის საჭირო რაოდენობას, ჭარბი წყალი აყალიბებს წყლის „აუზს“ მიცელების ბირთვში. ამ პირობებში ჰიდრატირებული საწინააღმდეგო იონები უფრო ადვილად გადაადგილდებიან და ნაწილაკების შეჯახებისა და დროებითი შერწყმისას ხდება მათი ეფექტური გადაცემა, რაც იწვევს ელექტროგამტარობის ზრდას W-ის მატებასთან ერთად. მეორეს მხრივ, წყლის მაღალი შემცველობისას წვეთების შიგნით წარმოიქმნება **ორმაგი ელექტრული შრე** უარყოფითად დამუხტული სულფონატის ჯგუფებით შიგნითა კედელზე და დადებითად დამუხტული ნატრიუმის საწინააღმდეგო იონებით წყლის აუზში, რაც იწვევს ზომებზე დამოკიდებულ განზიდვას წვეთებს შორის [179]. დერჯაგუინის

მიხედვით, ასეთი წვეთებს შორის განზიდვის ენერგია პროპორციულია მათი რადიუსისა და ზედაპირული პოტენციალის კვადრატის [177].

აღნიშნული განზიდვის ეფექტი ეწინააღმდეგება იონების გაზრდილი ძვრადობით გამოწვეულ გამტარობის ზრდას და განსაკუთრებით ძლიერდება წყლის მაღალი შემცველობისას. შედეგად, ამ ორი კონკურენტული პროცესის ურთიერთქმედება იწვევს ელექტროგამტარობის მაქსიმუმის წარმოქმნას W -ზე დამოკიდებულების მრუდზე [168].

წყალი/AOT/ნ-ჰეპტანის სისტემის სოლუბილიზაციის ტევადობაზე და ელექტრული გამტარობაზე შესწავლილია ორი დანამატის გავლენა: HDEHP და NaCl. წყალი/AOT/ნ-ჰეპტანის სისტემაში HDEHP ოპტიმალური შემცველობაზრდის მიზიდულობის ურთიერთქმედებას ზან-ის აგრეგატებს შორის, ამცირებს წყლის სოლუბილიზაციის ტევადობას და გამტარობის პერკოლაციის ზღვრულ ტემპერატურას. თუმცა ნატრიუმის ქლორიდის ხსნარის დამატება ზრდის მემბრანის სიმტკიცეს და შესაბამისად იზრდება წყლის შემცველობის ზღვრული გამტარობის პერკოლაცია [168].

მიტრას და პაულის მიერ ჩატარებულია მრავალი კვლევა პერკოლაციის ფენომენის შესწავლის მიზნით სხვადასხვა შედგენილობის შერეული მიცელების მაგალითებზე [168-174]. ძირითად გამხსნელად გამოყენებული იყო იზოპროპილ

მირისტატი (IPM), რომელიც, განსხვავებით სხვა გამხსნელებისგან, ხასიათდება მაღალი სიბლანტით. როგორც აღმოჩნდა, AOT/IPM/წყალი სისტემა, წარმოადგენს არაპერკოლირებადს. თუმცა ამ სისტემაზე არაიონური ზან-ების დამატება (Brij-56 და Brij-58) იწვევს W -თი ინდუცირებულ გამტარობის პერკოლაციას მუდმივ ტემპერატურაზე (303 K). ზღვრული პერკოლაცია (W_p) დამოკიდებულია დამატებული არაიონური ზან-ის ტიპზე, თავური ჯგუფების კონფიგურაციაზე და დამატებული არაიონური ზან-ის შემცველობაზე (მოლურ წილზე). შერეული ზან-ების სრული კონცენტრაციის ზრდით ზღვრული პერკოლაცია (W_p) მცირდება. ზან-ის მაღალი კონცენტრაცია ზრდის წვეთების რიცხვს შებრუნებულ მიცელურ სისტემებში და იწვევს პერკოლაციის დაჩქარებას. შესწავლილი სისტემებიდან, AOT/Brij-56 და AOT/Brij-58, ზღვრული პერკოლაციის დაბალი მნიშვნელობა ახასიათებს AOT/Brij-58 სისტემას, რადგან

Brij-58 აქვს უფრო დიდი პოლარული თავი, ვიდრე Brij-56-ს, რაც ხელს უწყობს ზედაპირის რღვევას [172]. ელექტროლიტის (NaCl) დამატება ზრდის ზღვრულ პერკოლაციას შერეული ზან-ების სისტემებისათვის მუდმივ ტემპერატურაზე და დამოკიდებულია ელექტროლიტის კონცენტრაციაზე [172].

ამავე კვლევაში შესწავლილია შებრუნებული მიცელური სისტემის მუდმივ შედგენილობაზე ტემპერატურის გავლენით გამოწვეული პერკოლაცია სხვადასხვა სისტემისათვის. AOT/IPM / წყალი შებრუნებული

მიცელური სისტემა არ ავლენს ტემპერატურით გამოწვეულ პერკოლაციას, მაგრამ არაიონური ზან-ების დამატება ახდენს ტემპერატურული პერკოლაციის ინდუცირებას. როგორც აღმოჩნდა, პერკოლაციის ზღვრული ტემპერატურა (T_p) დამოკიდებულია დამატებული არაიონური ზან-ის ტიპზე, თავური ჯგუფების კონფიგურაციაზე და დამატებული არაიონური ზან-ის შემცველობაზე (მოლურ წილზე). არაიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (მაგ., Brij-30; Brij-52, სპანები), რომელთაც ახასიათებთ დაბალი ჰიდროფილურობა სისტემაში AOT/IPM არ ავლენენ ტემპერატურით ინდუცირებულ პერკოლაციას.

სისტემა AOT/Brij-58 პერკოლაციას განიცდის უფრო დაბალ ტემპერატურაზე, ვიდრე AOT/Brij-56.

გამტარობაზე ტემპერატურის გავლენას აქვს სამი უბანი (პრე-პერკოლაცია, პერკოლაცია და პოსტ-პერკოლაცია). გამტარობის აქტივაციის ენერგია დაბალია პრე-პერკოლაციის და პოსტ-პერკოლაციის უბანში. დაბალ აქტივაციის ენერგიას შეესაბამება მეტად ღია სტრუქტურა [172]. როგორც აღმოჩნდა, პერკოლაციის აქტივაციის ენერგია (E_p) დამოკიდებულია პოლიოქსიეთილენურ ჯაჭვებზე. არაიონურ ზან-ებს მოკლე ჯაჭვებით აქვთ დაბალი აქტივაციის ენერგია, მაშინ, როცა დიდი რაოდენობით პოლიოქსიეთილენური ჯგუფების შემცველ ზან-ებს (მაგ., Brij-35) ახასიათებს აქტივაციის მაღალი ენერგია.

W_p -ს და T_p -ს მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენს სისტემაში სხვადასხვა ბუნების დანამატების შეტანა [173]. დანამატები ნატრიუმის ქოლატი, შარდოვანა, ქოლესტერილ აცეტატი, ქოლესტერილ ბენზოატი, ტოლუოლი, პლურონიკი, პოლიბუტადიენი, საქაროზას ესტერები, ფორმამიდი ამცირებენ T_p -ს მნიშვნელობას, მაშინ როცა, ნატრიუმის ქლორიდი,

ქოლესტერილპალმიტატი, ეთილენგლიკოლი ზრდის Tp-ს ორივე სისტემისათვის - AOT/Brij-56 და AOT/Brij-58. ბენზილის სპირტი ხელს უწყობს პერკოლაციის პროცესს AOT/Brij-58, ხოლო მკვეთრად აფერხებს AOT/Brij-56 სისტემაში. ამ დანამატების გავლენა პერკოლაციის ფენომენზე შესაძლებელია აიხსნას მათი განსხვავებული გავლენით ჩალაგების პარამეტრზე და/ან სხვა ფაქტორებით, რომელიც გავლენას ახდენს ზედაპირის სტრუქტურაზე შებრუნებული მიცელური სისტემების თვისებებზე. ანალოგიურად Ep-ს მნიშვნელობა დამოკიდებულია არაიონური ზან-ის ტიპზე, თავური ჯგუფის ზომასა და კონფიგურაციაზე, წყლის რაოდენობაზე, დანამატის ბუნებასა და კონცენტრაციაზე [172,173].

ამრიგად, კვლევებით დადასტურებულია, რომ სპეციფიკური იონური ეფექტები უნდა იქნას გათვალისწინებული შებრუნებული მიცელის ზომების ზუსტი პროგნოზირებისთვის. შექმნილია სხვადასხვა მოდელი მარილთა დანამატების შემცველი შებრუნებული მიცელის სტრუქტურების გასაგებად, სადაც ხაზს უსვამენ ჰიდრატაციის უნარს, როგორც დესტაბილიზაციის ძირითად მექანიზმს. დასკვნებს აქვს გავლენა სხვადასხვა მიკროემულსიურ სისტემებში კრიტიკული კონცენტრაციებისა და ზომების პროგნოზირებაზე. დადგენილია, რომ ელექტროლიტების თანაარსებობისას დამუხტულ ზედაპირებს შორის მიზიდვის ძალები იწვევს შებრუნებული მიცელის ზომის ცვლილებებს. სისტემის დესტაბილიზაცია ხდება მაშინ, როდესაც იონების ჰიდრატაციისთვის საჭირო წყლის მოცულობისა და უძრავი ზედაპირული წყლის ჯამი აღემატება მიცელაში წყლის მოცულობას. იონური დანამატები გავლენას ახდენს შებრუნებული მიცელის სტაბილურობაზე. ეს ამცირებს შებრუნებული მიცელის ფაზის ხანგრძლივობას. წყლის ან წყალხსნარის შესაბამისი კონცენტრაციის დროს სპეციფიკური ელექტროგამტარობის მკვეთრი ცვლილება მიუთითებს სისტემაში ფაზურ გადასვლაზე. ოპტიკური თვისებების ცვლილება შეესაბამება ელექტროგამტარობის მკვეთრ ზრდას.

2.3 შეზღუდულ მიკროემულსიებში ელექტრული გამტარობის კვლევის მეთოდების მიმოხილვა

მიკროემულსიების ელექტროგამტარობაზე დაკვირვება მნიშვნელოვანია მათი სტრუქტურის, დინამიკისა და კომპონენტებს შორის ურთიერთქმედების შესასწავლად. ელ-გამტარობის კვლევის მეთოდები მოიცავს წინააღმდეგობის გაზომვას, დიელექტრიკულ სპექტროსკოპიას და გამტარობის ანალიზს სხვადასხვა პირობებში. ეს მეთოდები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ კრიტიკული გადასვლის ტემპერატურა,

კონცენტრაცია და სხვა პარამეტრები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მიკროემულსიების ქცევაზე.

წინააღმდეგობის გაზომვის (წინააღმდეგობის სპექტროსკოპია) მეთოდი ეფუძნება მიკროემულსიაზე ალტერნატიული ელექტრული სიგნალის გამოყენებას და იმპედანსის (სრული წინააღმდეგობის) გაზომვას ფართო სიხშირის დიაპაზონში. წინააღმდეგობის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ წინააღმდეგობა, ტევადობა და სხვა პარამეტრები, რომლებიც დამოკიდებულია მიკროემულსიის სტრუქტურასა და დინამიკაზე.

დიელექტრიკული სპექტროსკოპიით ზომავენ მიკროემულსიის დიელექტრიკულ შეღწევადობას და დიელექტრიკული დანაკარგის ტანგენსს, რამდენადაც ალტერნატიული ელექტრული ველის სიხშირის ფუნქციის პარამეტრების ცვლილებები ასახავს იონებისა და მოლეკულების გადანაწილებას მიკროემულსიაში, რაც საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ ფაზური გადასვლები და სხვა სტრუქტურული ცვლილებები.

კონდუქტომეტრია ტემპერატურისა და კონცენტრაციის ფუნქციის მიხედვით გულისხმობს მიკროემულსიის ელექტროგამტარობის გაზომვას ტემპერატურისა და კომპონენტების კონცენტრაციის ცვლილებებით. გამტარობის ცვლილებები ხელს უწყობს ფაზური გადასვლების კრიტიკული ტემპერატურების (მაგ., გადასვლა შეზღუდულ მიკროემულსიიდან პირდაპირზე) და მიკროემულსიის სტაბილურობის კონცენტრაციის ზღვრების დადგენას.

ზემოთ აღწერილი მეთოდების გამოყენება შესაძლებელია გარე ფაქტორების, როგორიცაა მარილების, სპირტების ან სხვა ნივთიერებების დამატება, გავლენის შესასწავლად

მიკროემულსიების ელექტროგამტარობაზე. ეს ხელს უწყობს იმის გაგებას, თუ როგორ მოქმედებს ეს ფაქტორები მიკროემულსიების სტრუქტურასა და დინამიკაზე.

მოდელირება: ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაფუძნებული თეორიული მოდელები ხელს უწყობს მიკროემულსიების ქცევის პროგნოზირებას სხვადასხვა პირობებში და მათი თვისებების უკეთ გაგებას.

გამტარობის კვლევის მეთოდების გამოიყენება ფაზური გადასვლების შესასწავლად: ელექტროგამტარობის გაზომვა ხელს უწყობს კრიტიკული ტემპერატურების და კონცენტრაციების დადგენას, რომლებზეც ხდება მიკროემულსიის ფაზური სტრუქტურის ცვლილება (მაგ., გადასვლა პირდაპირი მიკროემულსიიდან შებრუნებულზე). ასევე მუხტის გადატანის დინამიკის განსაზღვრისათვის: ელექტროგამტარობის მეთოდები საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ მიკროემულსიებში მუხტის გადაცემის სიჩქარე და მექანიზმი, რაც მნიშვნელოვანია ამ სისტემებში მიმდინარე პროცესების გასაგებად.

ელექტროგამტარობის და სხვადასხვა ფაქტორებზე მისი დამოკიდებულების ცოდნა საშუალებას გვაძლევს შევექმნათ ახალი მიკროემულსიური სისტემები განსაზღვრული თვისებებით სხვადასხვა გამოყენებისთვის, მაგალითად, კოსმეტიკაში, ფარმაცევტულ ან კვების მრეწველობაში. ელექტროგამტარობა შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა დანამატების მიკროემულსიების სტრუქტურასა და თვისებებზე ზემოქმედების შესასწავლად, რაც მნიშვნელოვანია ფორმულირებების ოპტიმიზაციისა და ახალი პროდუქტების შემუშავებისთვის.

ზოგადად, ელ-გამტარობის კვლევის მეთოდები მიკროემულსიების და მათი თვისებების შესწავლის ძლიერი ინსტრუმენტია, რაც საშუალებას გვაძლევს უკეთ გავიგოთ მათი სტრუქტურა, დინამიკა და ქცევა სხვადასხვა პირობებში.

ელექტროგამტარობის გაზომვები ფართოდ გამოყენებული მეთოდია შებრუნებული (წყალი/ზეთში) მიკროემულსიების სტრუქტურული და დინამიური თვისებების შესასწავლად. ელექტროგამტარობის მნიშვნელობების ანალიზი იძლევა წარმოდგენას წვეთების ურთიერთქმედების, პერკოლაციის ზღურბლებისა და ფაზური გადასვლების შესახებ.

ელექტრული გამტარობის ძირითადი პრინციპები: შებრუნებული მიკროემულსიების ელ-გამტარობა, როგორც წესი, იზომება სპეციალური საზომი ხელსაწყო - კონდუქტომეტრის გამოყენებით დაკალიბრებული უჯრედის მუდმივათი.

ელ-გამტარობაზე მოქმედ ძირითად ფაქტორთაგან მნიშვნელოვანია წყალი/ზან-ის მოლური თანაფარდობა (W), ზან-ის ტიპი და კონცენტრაცია, ტემპერატურა, ზეთის ფაზის ბუნება, ელექტროლიტის ან თანაზან-ის თანაობა. ეს პარამეტრები გავლენას ახდენს მიკროემულსიაში წვეთების ურთიერთდაკავშირებასა და კლასტერიზაციის ხარისხზე, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს იონთა ძვრადობაზე და, მაშასადამე, ელ-გამტარობაზეც. W -ს დაბალ მნიშვნელობაზე წვეთები იზოლირებულია და გამტარობაც დაბალია. W -ს გაზრდით სისტემა აღწევს პერკოლაციურ ზღურბლს, რომლის მაღლა გამტარობა მკვეთრად იმატებს, რაც შეიძლება განპირობებული იყოს გარდამავალი ან უწყვეტი წყლის არხების ფორმირებით. [178,179]

პერკოლაციური თეორია და დინამიური ქცევა. ბევრი კვლევა იყენებს პერკოლაციურ მოდელებს წყალი/ზეთში მიკროემულსიების ელექტრული გამტარობის ცვლილების აღსაწერად. პერკოლაციის წერტილი ხშირად ასოცირდება იზოლირებული წვეთებიდან ქსელურ ფაზებში სტრუქტურულ ცვლილებასთან, რაც ხელს უწყობს იონური გამტარობის გაზრდას. [178-183]

ტემპერატურაზე დამოკიდებული კვლევები ასევე ხელს უწყობს იონური მობილობის აქტივაციის ენერგიის შეფასებას, რაც მხარს უჭერს ისეთ მოდელებს, როგორიცაა გამტარობის მონაცემების ინტერპრეტირებისთვის არენიუსის ან ვოგელ-ფულხერ-ტამანის (VFT) განტოლებების გამოყენება. [180] ელ-გამტარობის ცვლილების გაზომვები **ცვლადი დენით** (სხვადასხვა სიხშირეზე) იძლევა ინფორმაციას დინამიური რელაქსაციის პროცესების შესახებ და საშუალებას იძლევა განასხვავოთ იონური გამტარობა და დიელექტრული პოლარიზაცია. დროში გადაჭრილი (**Time-resolved conductivity**) გამტარობის გაზომვები შეიძლება გაერთიანდეს ტიტრაციასთან (მაგ., წყლის თანდათანობითი დამატება) სტრუქტურული გადასვლების აღმოსაჩენად. მაგალითად, არკოლეომ და სხვებმა (1995წ) წყლის/AOT/n-ჰექტანის სისტემებში გაზომეს ელ-გამტარობა და დიელექტრიკული შეღწევადობა და გაანალიზეს სისტემის ქცევა პერკოლაციის

ზღურბლის გარშემო.[178] შუბელმა და მისმა კოლეგებმა (1996წ) კონდუქტომეტრიისა და რენტგენის სხვიების მცირეკუთხოვანი გაბნევის მეთოდის (SAXS) კომბინაციით შეისწავლეს AOT-ის ბაზაზე მომზადებული სისტემების პერკოლაციური ქცევა [179]. ასევე შუბელმა და ილგენფრიცმა (1997წ) შეისწავლეს ელექტრულ გამტარობაზე ტემპერატურისა და მიკროსიბლანტის გავლენა.[181] პიზინომ და სხვებმა (2002წ) შეადარეს განსხვავებული ტიპის მიკროემულსიების პერკოლაციური ბუნება და სხვადასხვა ზეთის ფაზის გავლენა ელექტრულ გამტარობაზე. [182] ჩაკრაბორტიმ, დეიმ და მოულიკმა (2010წ) გამოავლინეს სხვადასხვა ზან-ის ნახშრბადოვანი ჯაჭვის სიგრძისა და იონური ძალის გავლენა მიკროემულსიური სიტემის ელ-გამტარობასა და პერკოლაციის ზღურბლზე. [183]

ამრიგად, გამტარობის გაზომვები მრავალმხრივი და ინფორმაციული ინსტრუმენტია შებრუნებული მიკროემულსიების სტრუქტურისა და დინამიკის შესასწავლად. წყლის შემცველობის, ტემპერატურისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების შემადგენლობის მიხედვით გამტარობის ცვლილებაზე დაკვირვებით, მკვლევარები იღებენ ინფორმაციას სისტემის პერკოლაციური ქცევის, მიკროსტრუქტურული გადასვლებისა და იონური მობილობის შესახებ.

თუმცა, კვლევების სიმრავლის მიუხედავად, გამტარობის გაზომვებზე დამყარებული მიკროემულსიური კვლევების შედეგები, პერკოლაციაზე სხვადასხვა ტიპის დანამატებისა და ტემპერატურის გავლენის შესახებ, მაინც არასაკმარისია მიკროემულსიების ქცევებისა და თვისებების სრული შესწავლისთვის და არ იძლევა მათში მიმდინარე მოვლენების ძირითადი მექანიზმების სრულად გაგების საშუალებას. გამომდინარე აქედან, აქტუალურია შებრუნებულ მიკროემულსიებში მუხტის გადატანის მექანიზმების შემდგომი შესწავლა [30].

3. ექსპერიმენტული ნაწილი

3.1 გამოყენებული რეაგენტები

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები: იონური ნატრიუმის დიეთილჰექსილ სულფოსუქცინატი (AOT) $C_{20}H_{37}NaO_7S$, არაიონური ტეტრაეთილენგლიკოლ მონოდოდეცილის ეთერი $C_{12}E_4$ (პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერის (Brij-30)), ნატრიუმის ქოლატი (SC) $C_{24}H_{39}NaO_5$, პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი (PMZ) $C_{17}H_{20}N_2S \cdot HCl$, ზეთის ფაზად გამოვიყენეთ დეკანი $C_{10}H_{24}$. მარილები: ნატრიუმის პერქლორატი ($NaClO_4$), ნატრიუმის ქლორიდი ($NaCl$), ნატრიუმის ბრომიდი ($NaBr$), ნატრიუმის ფტორიდი (NaF), ნატრიუმის იოდიდი (NaI), ნატრიუმის აცეტატი (CH_3COONa), კალიუმის პერქლორატი ($KClO_4$), კალიუმის ფტორიდი (KF), კალიუმის ქლორიდი (KCl), კალიუმის იოდიდი (KI), კალიუმის ბრომიდი (KBr), კალიუმის აცეტატი (CH_3COOK), ლითიუმის პერქლორატი ($LiClO_4$), ლითიუმის ქლორიდი ($LiCl$), ლითიუმის ფტორიდი (LiF).

3.2 მიკროემულსიების მომზადება

შებრუნებული მიკროემულსიები მომზადდა AOT-ის საფუძველზე. AOT-ს აქვს მოლეკულური ფორმულა $C_{20}H_{37}NaO_7S$. AOT-ის ჰიდროფილურ-ლიპოფილური ბალანსი (HLB) უდრის 10.5-ს, ხოლო მიცელაწარმოქმნის კრიტიკული კონცენტრაცია (CMC) არის 0.64 mM. მიკროემულსიები მომზადდა AOT-ის გარკვეული რაოდენობის ნ-დეკანში გახსნით. მიკროემულსიის ძირითადი მახასიათებელია W_0 წარმოადგენს წყალი-ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლური თანაფარდობას $W=[H_2O]/[ზან]$.

შებრუნებული მიკროემულსიები გამჭვირვალე ერთფაზიანი ხსნარების სახით მზადდებოდა ზან-ის დეკანში შეტანით და წყლის მცირე ულუფების დამატებით, იმ გაანგარიშებით, რომ W_0 გაზრდილიყო 1 ან 2 ერთეულით. შერევის შემდეგ, ნარევის მსუბუქი ნჯღრევის პირობებში, ხსნარები სწრაფად ხდება მონოფაზური. ყველა ექსპერიმენტი ტარდებოდა სტაბილურ, ერთფაზიან სისტემებზე.

3.3 გამოყენებული ხელსაწყოები

მიღებული მიკროემულსია თავსდება თავდახურულ ჭურჭელში მაგნიტით. ჭურჭელში ჩაშვებული იყო აგრეთვე კონდუქტომეტრის ელექტროდი. ჭურჭელი მიკროემულსიით იდგმებოდა თერმოსტატის HWCL-3S-ის წყლიან აბაზანაში, რომელშიც ჩაშვებული იყო თერმოსტატის თერმომეტრი. ტემპერატურა ფიქსირებული იყო 30°C. მიღებული მიკროემულსიის ხვედრითი ელგამტარობა წყლის თითოეული დანამატის შემდეგ იზომებოდა Orion star A 215-ის კონდუქტომეტრით ერთეულებში $\mu\text{S}/\text{cm}$ (მიკროსიმენსი/სანტიმეტრი) (ნახაზი 14).



ნახაზი 14. გამოყენებული ხელსაწყოები: კონდუქტომეტრი და თერმოსტატი

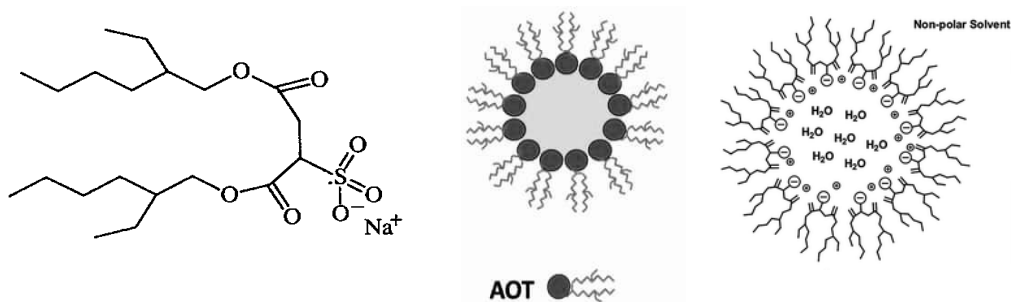
3.4 ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის გაანგარიშება

შებრუნებული მიკროემულსიების ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის მნიშვნელობა W_p განისაზღვრა $\Delta\sigma/(\sigma\Delta W)$ მნიშვნელობის [წყალი]/[ზან] მოლური თანაფარდობის სიდიდესთან დამოკიდებულებით, სადაც σ არის სპეციფიკური ელექტროგამტარობა ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$).

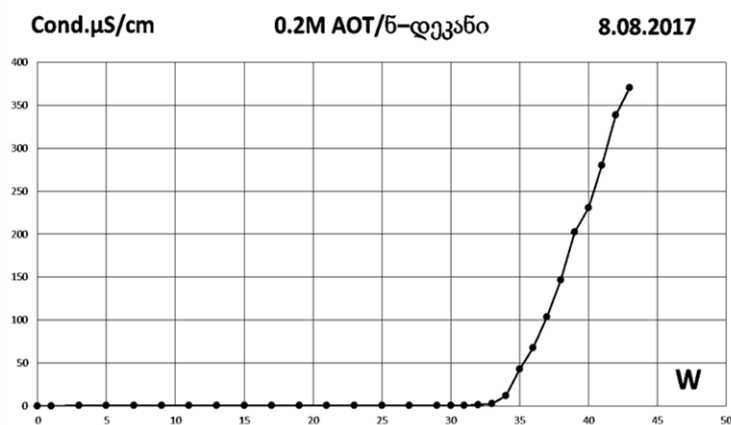
4. შედეგები და განსჯა

4.1 ელექტრული პერკოლაციის პროცესის შესწავლა ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუცინატის შებრუნებულ მიკროემულსიებში

შესწავლილია 0.2M AOT/ნ-დეკანი შებრუნებული მიკროემულსიის (ნახაზი 15) ელგამტარობის პერკოლაცია სუფთა წყლის დანამატით, რომელიც სისტემაში შეგვქონდა თანდათანობით $W=2$ ბიჯით. გამტარობა იზომებოდა სამჯერ და საშუალო მნიშვნელობა აისახა $[\text{წყლის}]/[\text{ნან}]$ მოლური თანაფარდობის (W) ფუნქციად. როგორც ნახაზი 16. ჩანს, ზეთის ფაზად დეკანის გამოყენების შემთხვევაში პერკოლაცია მოხდა $W=32$ -ზე.



ნახაზი 15. ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუცინატის (AOT) მონომერის და მისი შებრუნებული მიცელის სტრუქტურა დეკანში.

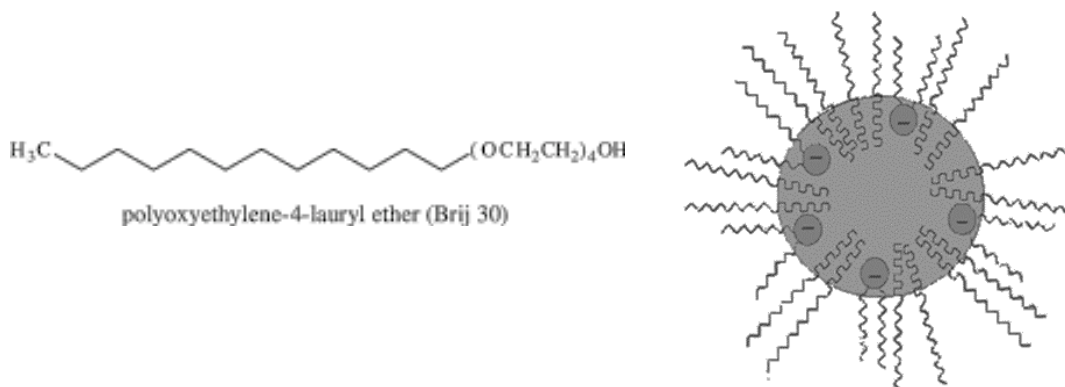


ნახაზი 16. 0,2 M AOT/დეკანი + H₂O სისტემის ელგამტარობის დამოკიდებულება W-ს მნიშვნელობაზე.

დასკვნა: შესწავლილია ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების ელგამტარობის დამოკიდებულება წყლის და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლურ თანაფარდობაზე, ზეთის ფაზად ნ-დეკანის გამოყენებით, ამასთან პერკოლაციის ზღურბლი $W_p=32$.

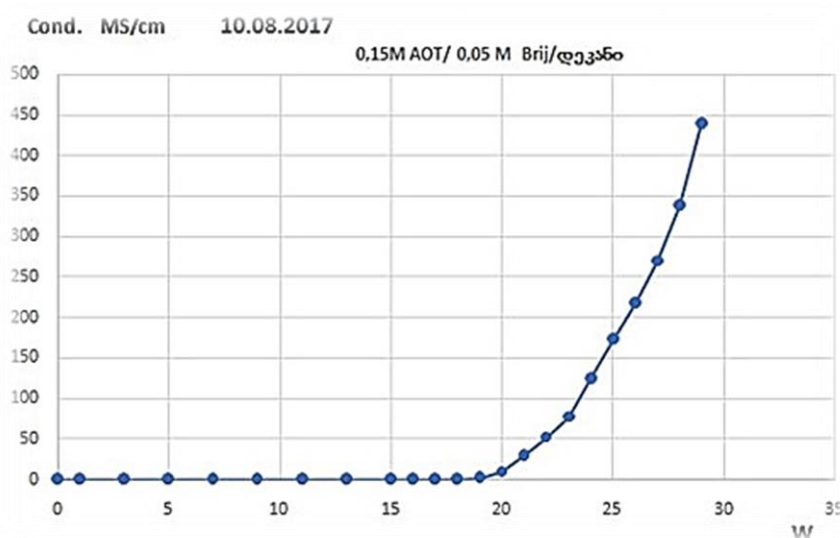
4.2 ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა (ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატი + პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერი) შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში

შესწავლილია (AOT+ C₁₂E₄) /წყალი/დეკანი შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიის (ნახაზი 17) ელევამტარობის პერკოლაცია სუფთა წყლის დანამატით W=2 ბიჯით.



ნახაზი.17. პოლიოქსიეთილენ-4-ლაურილის ეთერის მონომერებით მოდიფიცირებული AOT-ის შებრუნებული მიცელის სტრუქტურა

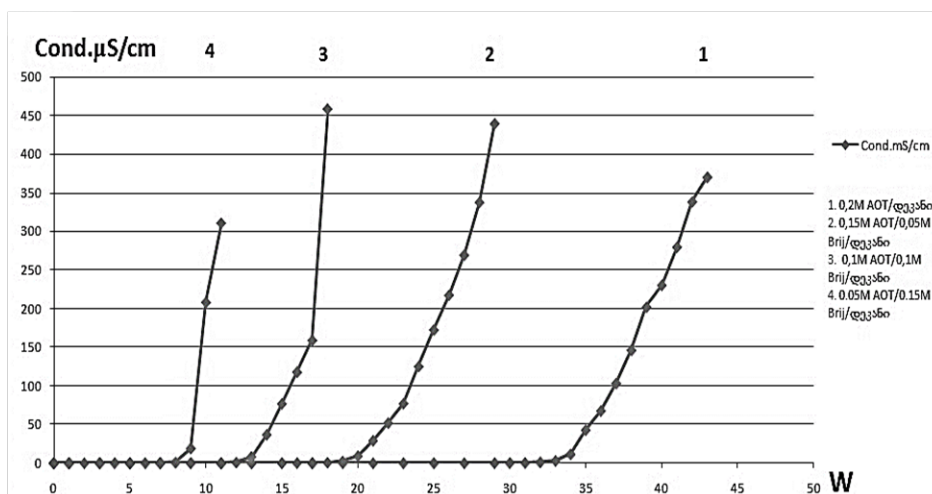
პერკოლაციას ადგილი ჰქონდა არაიონური (ტეტრაეთილენგლიკოლ მონოდოდეცილის ეთერი C₁₂E₄) Brij-30-ის დანამატით მოდიფიცირების დროსაც (ნახაზი 18).



ნახაზი 18. 0,15 M AOT/ 0,05M Brij-30/ დეკანი ხსნარის პერკოლაციაზე დაკვირვება W –ს ცვლილებისას

AOT-ისა და Brij-30-ის სხვადასხვა მოლური თანაფარდობის შემთხვევაში ადგილი ჰქონდა პერკოლაციის ზღურბლის გადანაცვლებას. რაც მეტი იყო არაიონური

დანამტის მოლური წილი, მით დაბალ W-ზე დგებოდა ელგამტარობის პერკოლაცია. ეს კარგად ჩანს ოთხივე გრაფიკის შედარებისას, რომლებზეც მოცემულია შესაბამისი მრუდები (ნახაზი 19.).



ნახაზი 19. 0.20 M AOT/ნ-დეკანი (მრუდი 1); 0.15 M AOT/0.05M Brij-30/ნ-დეკანი (მრუდი 2); 0.10 M AOT/0.10 M Brij-30/ნ-დეკანი (მრუდი 3); 0.05 M AOT/0.15 M Brij-30/ნ-დეკანი (მრუდი 4).

AOT/დეკანი სისტემის ელექტრულ გამტარობაზე ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ სხვადასხვა იონური დანამატი სხვადასხვაგვარ გავლენას ახდენს მასზე. კერძოდ, არაიონური დანამატი Brij-30 ავლენს პერკოლაციის ხელისშემწყობ გავლენას. რაც მეტია მისი მოლური წილი ხსნარში, მით უფრო დაბალ W-ზე დგება ელგამტარობის ზრდა. ეს შესაძლოა გამოწვეული იყოს იმით, რომ Brij-30-ის მონომერები ახდენს AOT-ის შებრუნებული მიცელის სტრუქტურის მოდიფიცირებას (ნახაზი 17.)

Brij-30-ის დამატება ხელს უწყობს პერკოლაციას და დაბლა წევს პერკოლაციის ზღურბლს. Brij-30 ზრდის წყლის წვეთების მემბრანული შრის მოქნილობას. რის შედეგადაც წვეთების დაჯახებები ბევრად ეფექტური ხდება, რაც იძლევა მუხტის გადატანის უკეთეს პირობებს. (იგულისხმება AOT-ის Na^+ -ის მუხტები.)

არაიონური Brij-30-ის მონომერები ჯდება AOT-ის თავებს შორის, რომლებიც უარყოფითად არიან დამუხტულები და ამცირებენ განზიდვას. (რადგან ერთნაირი ნიშანი აქვთ AOT-ის თავებს, ისინი ერთმანეთს განიზიდავენ და ამ არეში

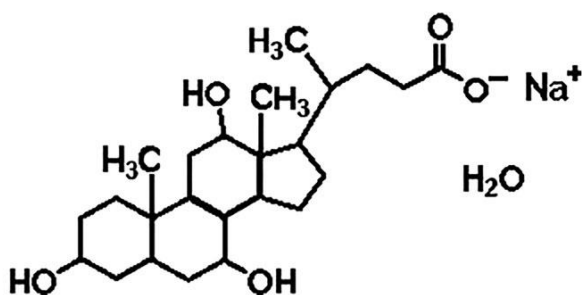
დაძაბულობა დიდია, ხოლო როცა Brij-30-ის მონომერები განთავსდებიან AOT-თან ერთად, ხდება განზიდვის შემცირება, შესაბამისად დაძაბულობის შემცირება).

დასკვნები:

- შესწავლილია პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერის დანამატების გავლენა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების ელგამტარობაზე.
- კონდუქტომეტრიულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ არაიონური ზან-ის დანამატი ხელს უწყობს ელექტრული პერკოლაციის დადგომას [წყალი]/[ზან] თანაფარდობის უფრო დაბალ მნიშვნელობაზე, ვიდრე მხოლოდ AOT-ის შებრუნებულ მიკროემულსიაში, კერძოდ, W_p -ს მნიშვნელობები მცირდება 32-დან 20, 13 და 9-მდე AOT-ის მოდიფიცირებისას $C_{12}E_4$ -ის მზარდი დანამატებით.

4.3. ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა (ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატი + ნატრიუმის ქოლატის) შერეულ შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიაში

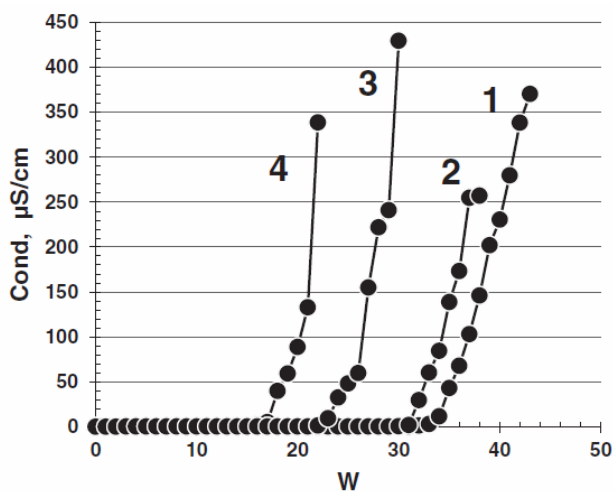
შესწავლილი იქნა შებრუნებული შერეული მიცელარული ხსნარების ელექტროგამტარობა (AOT + SC) და SC დანამატების კონცენტრაციის გავლენა შებრუნებული AOT მიკროემულსიების პერკოლაციის ზღურბლზე. SC არის ანიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება 9–15 mMW-ით და HLB 18-ით. SC ჰიდრატს აქვს მოლეკულური ფორმულა $C_{24}H_{39}NaO_5 \cdot xH_2O$ (ნახაზი 20).



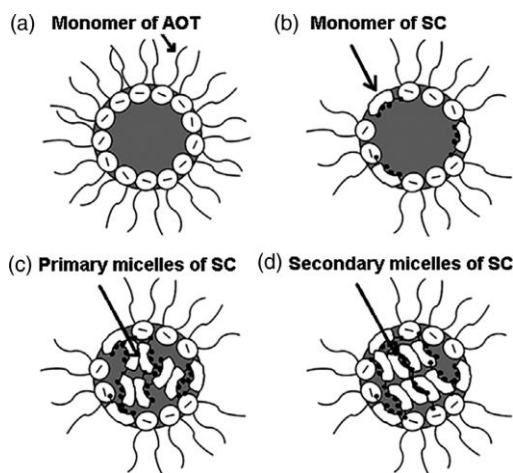
ნახაზი 20: ნატრიუმის ქოლატის (SC) $C_{24}H_{39}NaO_5 \cdot xH_2O$ სტრუქტურა

გამჭვირვალე ერთფაზიანი ხსნარები მიღებულ იქნა დეკანის, AOT-ისა და წყლის განსაზღვრული რაოდენობის ნარევის ან SC-ის წყალხსნარების (0.005, 0.01, 0.05 და 0.1 M) წყალხსნარების ნაზად შენჯღრივით. 10 mM SC-ის შეყვანა AOT/დეკანის ხსნარში იწვევს წყლის პერკოლაციის ზღურბლის უმნიშვნელო შემცირებას (2 ერთეულით W

= 30) დანამატების გარეშე წყალთან შედარებით ($W = 32$). თუმცა, AOT/დეკანის ხსნარის 50 mM SC - თი მოდიფიკაცია იწვევს წყლის პერკოლაციის ზღურბლის მნიშვნელოვან შემცირებას 10 ერთეულით, ანუ $W = 32$ -დან $W = 22$ -მდე. (ნახაზი 21) ეს მიუთითებს, რომ წყლის წვეთებში მიცელარული აგრეგატების დიდი რაოდენობა ხელს უწყობს წყლის წვეთების ეფექტურ შეჯახებას ან ხელს უწყობს მუხტის გადაცემას წყლის წვეთებს შორის (ნახაზი 22(d)). თუმცა, SA-ს კონცენტრაციის 100 mM-მდე გაზრდა იწვევს წყლის პერკოლაციის ზღურბლის შემცირებას მხოლოდ 7 ერთეულით, $W = 22$ -დან $W = 15$ -მდე.



ნახაზი 21. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W -ზე შემდეგ სისტემებში: (მრუდი 1) 0.2 M AOT/დეკანი/წყალი; (მრუდი 2) 0.2 M AOT/დეკანი/0.01 M SC; (მრუდი 3) 0.2 M AOT/დეკანი /0.05 M SC; (მრუდი 4) 0.2 M AOT/დეკანი /0.1 M SC



ნახაზი 22. AOT-ის შებრუნებული მიცელების წყლის წვეთების სქემა: (a) დანამატების გარეშე, (b) მოდიფიცირებული SC-ის ხსნარით მისი CMC-ზე დაბალი კონცენტრაციით, (c) SC-ის თანდასწრებით მისი CMC დიაპაზონის ფარგლებში ან CMC-ზე ოდნავ მაღალი კონცენტრაციით, (d) SC-ის თანდასწრებით CMC-ზე გაცილებით მაღალი კონცენტრაციით.

ამგვარად, წყლის წვეთებში SC-ის კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის შემცირებას, ანუ პერკოლაცია ხდება W-ის უფრო დაბალი მნიშვნელობის დროს. ეს შეიძლება აიხსნას წყლის/ ზან-ის ინტერფეისზე სიხისტის სავარაუდო შემცირებით, წყლის წვეთებში SC-დან წარმოქმნილი პირველადი და მეორადი მიცელების კონცენტრაციის ზრდით, რაც ხელს უწყობს წყლის წვეთების ეფექტურ შეჯახებას და ნატრიუმის იონების (რომლებიც წყლის წვეთებში არსებობს როგორც AOT-ის, ასევე SC-ის დისოციაციის გამო) მუხტის ნახტომისებურ გადაადგილებას წვეთებიდან წვეთებამდე.

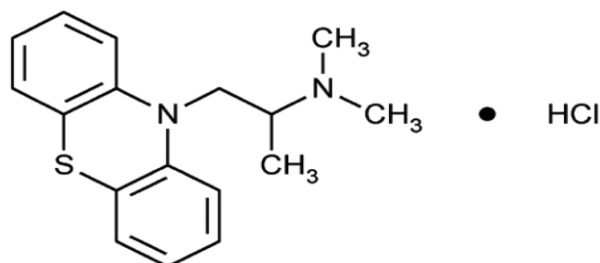
დასკვნები

- შესწავლილია ანიონური ბიოლოგიურ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნატრიუმის ქოლატის დანამატების გავლენა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების ელგამტარობის პერკოლაციაზე.
- დადგენილია, რომ AOT-ის შებრუნებული მიკროემულსიების წყლის წვეთებში ნატრიუმის ქოლატის კონცენტრაციის ზრდა იწვევს ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის შემცირებას და პერკოლაცია ხდება წყლის/ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების თანაფარდობის უფრო დაბალი მნიშვნელობაზე, ვიდრე ამას ადგილი აქვს მხოლოდ AOT-ის საფუძველზე მომზადებულ შებრუნებულ მიკროემულსიაში.
- მიღებული შედეგები მნიშვნელოვანია იმდენად, რამდენადაც ნაღვლის მჟავების მარილები წარმოადგენს ბუნებრივ ბიოლოგიურ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს და ქოლესტერინის, ბილირუბინის და ცხიმში ხსნადი ვიტამინების პოტენციურ გამხსნელებად გვევლინება.

4.4. ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა (ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატი + პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი) შერეულ შებრუნებულ მიკროემულსიებში

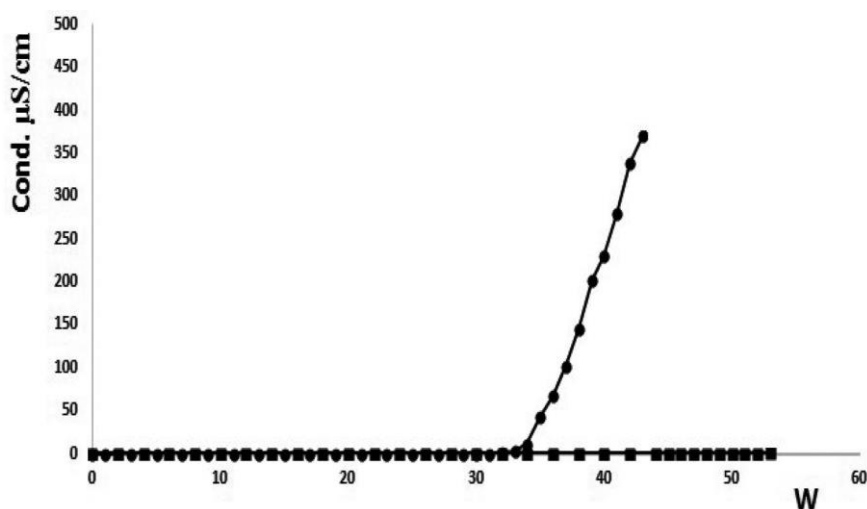
შესწავლილია კათიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების, ანტიჰისტამინური პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის (PMT) (Sigma-Aldrich) და ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის (AOT) შერეული შებრუნებული მიკროემულსიების წყლით ინდუცირებული ელექტრული პერკოლაციის პროცესი

კონდუქტომეტრული მეთოდით PMZ-ს სხვადასხვა კონცენტრაციისას. პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის [10-(2-დიმეთილამინოპროპილ) ფენოთიაზინის ჰიდროქლორიდი (PMT) ქიმიური სტრუქტურა მოცემულია (ნახაზი 23).

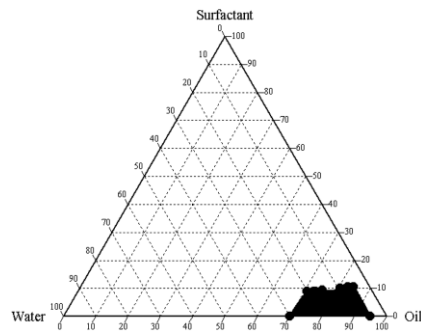


ნახაზი 23. პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის -
[10-(2-დიმეთილამინოპროპილ)ფენოთიაზინის ჰიდროქლორიდი,] სტრუქტურა;

ერთ ნიმუშზე გამტარობის გაზომვების განმეორებადობა არ აღემატებოდა 1%-ს. ნიმუშებ ყოვნდებოდა მუდმივი ტემპერატურის აბაზანაში (30°C) წონასწორობის დასაბრუნებლად წყალში გახსნილი გარკვეული რაოდენობის PMT ჰიდროქლორიდის თითოეული ულუფის შემდეგ. გამტარობის გაზომვები ჩატარდა სამჯერ, საშუალო მნიშვნელობებით მოხდა გამტარობის W-ს (წყალი/ზანი თანაფარდობა) ფუნქციის სახით გამოსახვისთვის (ნახაზი 24). AOT/დეკანი/წყლისთვის აგებულია სამმაგი ფაზური დიაგრამა (ნახაზი 25).



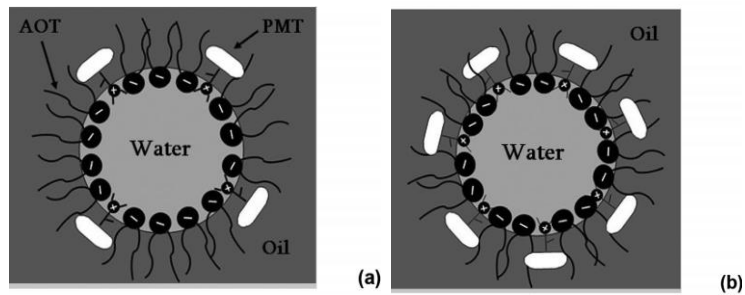
ნახაზი 25 . ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W-ზე შემდეგ სისტემებში:
● 200 mM AOT/დეკანი/წყალი; ■ 100 mM AOT/დეკანი/15.6 mM PMT



ნახაზი 26. ზეთი-ზანი-წყალი სისტემის ფსევდო-სამმაგი ფაზური დიაგრამა დეკანისა და AOT-ის 8:1 წონითი თანაფარდობით. მუქი დაჩრდილული არე წარმოადგენს გამჭვირვალე და ადვილად დინებად ნანომულსიურ რეგიონს.

როგორც ნახ. 25-ში ჩანს, AOT/დეკანის მიკროემულსიის პერკოლაციის ზღვარი იწყება $W=32$ -ზე. PMT დანამატების ზემოქმედებით ელექტრული პერკოლაცია არ შეინიშნება კათიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ძალიან დაბალი კონცენტრაციის

დროს (0.078 mM PMT დანამატის შემთხვევაში). პერკოლაციის დათრგუნვა ასევე ხდება პრომეტაზინის დანამატების მზარდი კონცენტრაციების დამატებით, მაგალითად (0.78, 7.8, 15.6, 39.0 და 78.0) mM PMT-ზე. პერკოლაციის დათრგუნვის ასახსნელად, ჩვენ ვიყენებთ ნახაზი 27-ში ნაჩვენებ a და b სქემებს. ამ სქემებზე დაყრდნობით, სავარაუდოდ, დადებითად დამუხტული PMT კუდები ლოკალიზებულია AOT-ის სულფო-ჯგუფებს შორის და კომპენსირებას ახდენს მათ შორის განზიდვაზე, რაც ზრდის წყლის/ზეთის ინტერფეისის სიხისტეს. შედეგად, იზრდება შებრუნებული მიცელების სტაბილურობა, რაც ხელს უშლის წყლის წვეთების ეფექტურ შეჯახებას და თრგუნავს პერკოლაციას. შებრუნებული მიცელის სტაბილურობა და სიმტკიცე, სავარაუდოდ, გაიზრდება PMT-ის კრიტიკულ მიცელის კონცენტრაციაზე მაღლა (მაგ. 39.0 mM და 78.0 mM PMT-ზე). გარკვეულწილად, ქლორიდის იონების (პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი) არსებობა წყლის წვეთებში შეიძლება იყოს პერკოლაციის ინჰიბირების ერთ-ერთი დამატებითი მიზეზი. ვინაიდან წყლის წვეთებში ქლორიდის იონები ახლოსაა ნატრიუმის AOT იონებთან, ისინი, სულ მცირე, სუსტად უკავშირდებიან მათ და გარკვეულწილად ართულებენ მათ გადასვლას ერთი მიცელიდან მეორეზე. მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ ამ შემთხვევაში, პერკოლაცია, ძირითადად, ითრგუნება კათიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების PMT-ის დამატებით.



ნახაზი 27. AOT-ის შებრუნებული მიცელების წყლის წვეთების სქემა: (ა) მოდიფიცირებულია PMT ხსნარით, რომლის კონცენტრაცია მის CMC-ზე გაცილებით დაბალია, (ბ) მოდიფიცირებულია PMT ხსნარით, რომლის კონცენტრაცია მის CMC-ზე დაბალია, (გ) CMC-ზე მაღალი კონცენტრაციის PMT-ის თანაობისას.

დასკვნები

- შესწავლილია კათიონური ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერების პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის დანამატების გავლენა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების წყლით ინდუცირებული ელგამტარობის პერკოლაციაზე.
- აღმოჩნდა, რომ პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის დანამატების (0.078 mM - 78 mM) შეტანა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების წყლის წვეთებში ელგამტარობის პერკოლაციას სრულიად აქრობს, რაც სავარაუდოდ გამოწვეულია წყალი/ზეთი ფაზათაშორისი ზედაპირის სიხისტის ზრდით და შედეგად ეფექტური დაჯახებების შემცირებით.

4.5. ელექტრული პერკოლაციის შესწავლა მარილების წყალხსნარებით მოდიფიცირებულ ნატრიუმის ბის (2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებულ მიკროემულსიებში

შესწავლილია სხვადასხვა მარილების (ნატრიუმის პერქლორატი (NaClO_4), ნატრიუმის ქლორიდი (NaCl), ნატრიუმის ბრომიდი (NaBr), ნატრიუმის ფტორიდი (NaF), ნატრიუმის იოდიდი (NaI), ნატრიუმის აცეტატი (CH_3COONa), კალიუმის პერქლორატი (KClO_4), კალიუმის ფტორიდი (KF), კალიუმის ქლორიდი (KCl), კალიუმის იოდიდი (KI), კალიუმის ბრომიდი (KBr), კალიუმის აცეტატი (CH_3COOK), ლითიუმის პერქლორატი (LiClO_4), ლითიუმის ქლორიდი (LiCl), ლითიუმის ფტორიდი (LiF)) (Sigma-Aldrich) დანამატების გავლენა AOT/წყალი/დეკანი შებრუნებულ მიკროემულსიაში ელექტრული პერკოლაციის პროცესზე.

გამტარობა იზომებოდა კონდუქტომეტრის (უჯრედის მუდმივით 1.0 სმ^{-1} . გამტარობის გაზომვა განმეორებადი აღმოჩნდა $\pm 1\%$ -ის ფარგლებში) საშუალებით მუდმივ ტემპერატურაზე (30°C) მაგნიტური სარეველას მქონე თერმოსტატის წყლიან აბაზანაში.

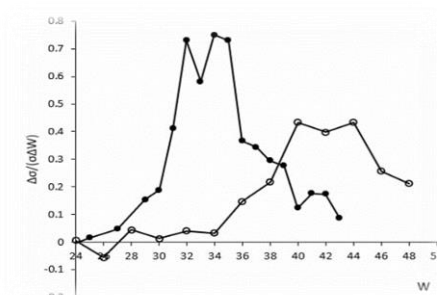
წყლით გამოწვეული ელექტრული პერკოლაციის ექსპერიმენტებში, ნიმუშებს სხვადასხვა მარილის გარკვეული რაოდენობის წყლის ხსნარების ყოველი შეყვანის შემდეგ ვაყოვნებდით მუდმივი ტემპერატურის აბაზანაში (30°C) წონასწორობის აღსადგენად.

გამტარობა იზომებოდა სამჯერ და საშუალო მნიშვნელობა წყლის/ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლური თანაფარდობის (W) ფუნქციად აისახა შესაბამის ნახაზებში.

შესწავლილია სხვადასხვა მარილების წყალხსნარების სხვადასხვა კონცენტრაციების დანამატების გავლენა შებრუნებულ მიკროემულსიურ სისტემებში წყლით ინდუცირებულ (WIP) ელექტრულ პერკოლაციაზე.

4.5.1 მარილების დანამატების კონცენტრაციის გავლენა ელექტრულ პერკოლაციაზე AOT/ნ-დეკანი/წყალი შებრუნებულ მიკროემულსიებში

ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ ელექტრული პერკოლაცია ზოგადად ხდება უფრო მაღალ W მნიშვნელობებზე WIP ექსპერიმენტებში მარილის დანამატების თანაარსებობით, შებრუნებული მიკროემულსიის სუფთა წყლის წვეთთან შედარებით (ცხრილი 1). ეს მიუთითებს, რომ მარილების არსებობა წყლის ჯიბეებში ან შებრუნებული მიკროემულსიის დისპერსიულ ფაზაში ამცირებს მასის გადაცემას წყლის წვეთებს შორის, ანუ ელექტრული პერკოლაცია შეფერხებულია მარილების დამატებით, რაც სრულად შეესაბამება ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებს.[188,189]



ნახაზი 28. წყლით ინდუცირებული პერკოლაციის ზღურბლის W_p განსაზღვრის დიფერენციალური დიაგრამა სისტემებში: • 0.2M AOT/ დეკანი/წყალი და 0.2M AOT/ დეკანი/ 0,005M KCl

ცხრილი 1. 0.2 M AOT-ის შებრუნებული მიკროემულსიური სისტემების ზღურბლის პერკოლაცია (W_p) იონური დანამატების სხვადასხვა კონცენტრაციით ნ-დეკანში W

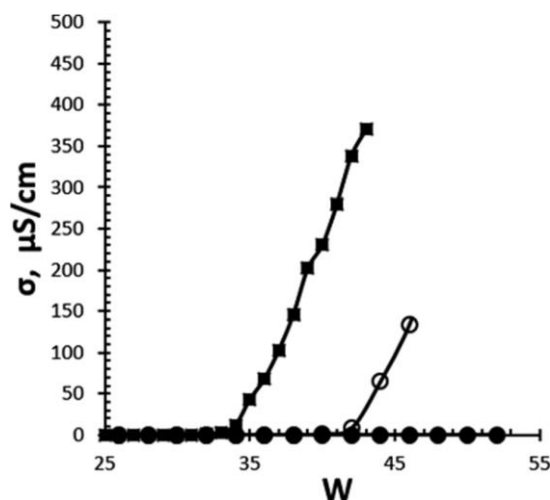
№	იონური დანამატები	იონური დანამატების კონცენტრაცია, M	W_p
1	უდანამატო	0	34
2	ლითიუმის ქლორიდი	0.002	38
3	ნატრიუმის ქლორიდი	0.002	40
4	ნატრიუმის ქლორიდი	0.01	არ დაიკვირვა
5	კალიუმის ქლორიდი	0.002	41
6	ნატრიუმის აცეტატი	0.002	42
7	კალიუმის აცეტატი	0.002	42
8	ნატრიუმის აცეტატი	0.01	არ დაიკვირვა
9	კალიუმის აცეტატი	0.01	არ დაიკვირვა
10	ნატრიუმის ფტორიდი	0.002	40
11	ნატრიუმის ფტორიდი	0.01	46
12	ნატრიუმის ფტორიდი	0.05	არ დაიკვირვა
13	ლითიუმის ფტორიდი	0.002	არ დაიკვირვა
14	კალიუმის ფტორიდი	0.002	40
15	კალიუმის ბრომიდი	0.002	42
16	კალიუმის იოდიდი	0.002	არ დაიკვირვა
17	ნატრიუმის პერქლორატი	0.002	34
18	კალიუმის პერქლორატი	0.002	38
19	ლითიუმის პერქლორატი	0.002	40

ის მზარდი მნიშვნელობების დროს

უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრილი 1. მოცემული პერკოლაციის ზღურბლის მნიშვნელობები განისაზღვრება ლიტერატურული მონაცემების შესაბამისად [171,184]. (დიფერენციალური დიაგრამის ნიმუში ნახაზი 28).

კერძოდ, აჩვენებს, რომ წყალხსნარიანი შებრუნებული მიკროემულსიის სისტემის პერკოლაციის ზღურბლი არის $W_p = 34$, ხოლო ნატრიუმის ქლორიდის წყალხსნარით

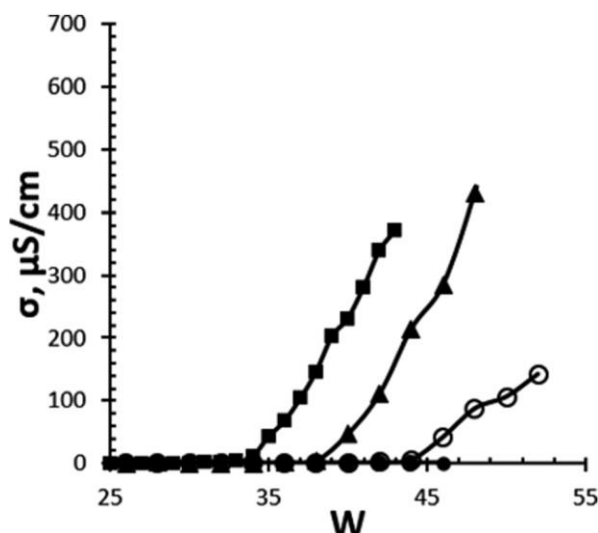
მოდიფიცირებული შებრუნებული მიკროემულსიისთვის ის არის $W_p=40$ (ნახაზი 29, ცხრილი 1, სისტემები 1-3).



ნახაზი 29: ელექტრული გამტარობის დამოკიდებულება W -ის მიმართ სისტემებში:

■ 0.2 MAOT/დეკანი/წყალი; ○ 0.2MAOT/დეკანი/0.002M NaCl; ● 0.2 MAOT/დეკანი/0.01M NaCl.

რაც შეეხება მარილის კონცენტრაციის გავლენას ელექტრულ პერკოლაციაზე, ნატრიუმის ქლორიდის და ნატრიუმის ფტორიდის კონცენტრაციების ზრდასთან ერთად, პერკოლაცია გადადის W -ის უფრო მაღალ მნიშვნელობაზე ან საერთოდ ქრება W_{IP} ექსპერიმენტებში (ნახაზი 30 ; ცხრილი 1, სისტემები 3–4, 10–12).

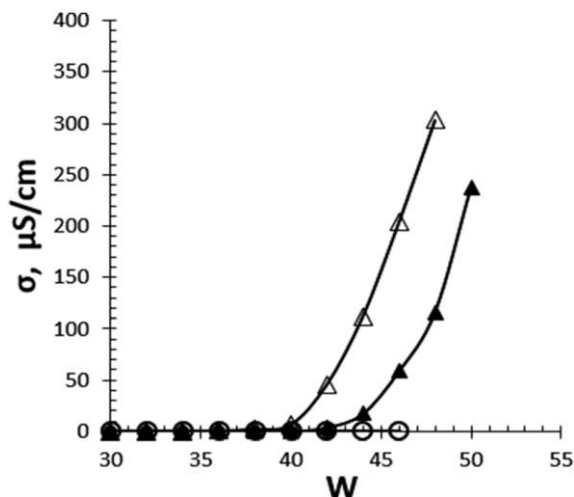


ნახაზი 30. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W -ზე სისტემებში:

■ 0.2M AOT/დეკანი/წყალი; ▲ 0.2M AOT/დეკანი/0.002M NaF; ○ 0.2 M AOT/დეკანი/0.01M NaF; ● 0.2M AOT/დეკანი/0.05M NaF.

ანალოგიურად, ელექტრული პერკოლაცია ითრგუნება ნატრიუმის და კალიუმის აცეტატების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად წყლით ინდუცირებულ პერკოლაციის პროცესებში (ნახაზი 31, ცხრილი 1, სისტემები 6–9). სავარაუდოდ,

ელექტრული პერკოლაციის დათრგუნვა განპირობებულია მარილის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად წყლის სიმკვრივის ზრდით, ასევე იონების მობილობის შემცირებით, რაც გამოწვეულია იონური ატმოსფეროს ეფექტის ზრდით, რაც ართულებს შებრუნებული მიცელის წყლის წვეთებს შორის მუხტის გადაცემას.



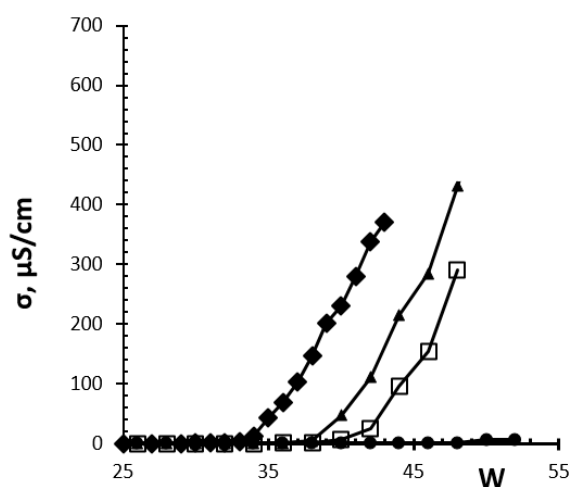
ნახაზი 31. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W-ზე სისტემებში:
 Δ 0.2M AOT/დეკანი/0.002M CH₃COONa; $\blacktriangle$ 2MAOT/დეკანი/0.002M CH₃COOK; $\circ$ 0.2M AOT/დეკანი/0.01M CH₃COONa; $\bullet$ 0.2M AOT/დეკანი/0.01 M CH₃COOK.

4.5.2 ფტორიდების დანამატების გავლენა ელექტრულ პერკოლაციაზე WIP ექსპერიმენტებში

შესწავლილია ლითიუმის, ნატრიუმის და კალიუმის ფტორიდების დანამატების გავლენა წყლით ინდუცირებულ ელექტრული პერკოლაციის პროცესზე. როგორც ჩანს, WIP ექსპერიმენტებში ლითიუმის ფტორიდის დანამატი სრულიად აქრობს პერკოლაციას (ნახ. 32.)

მიღებული შედეგების ასახსნელად საკითხი განვიხილოთ მუხტის სიმკვრივების მიხედვით იონების ერთმანეთთან და წყლის მოლეკულებთან ურთიერთქმედების კუთხით [186] [Collins 1997]. ამ თეორიის მიხედვით, მუხტის მაღალი სიმკვრივის იონი ყველაზე მეტად ურთიერთქმედებს ისეთ საპირისპირო იონთან, რომელსაც ასევე მუხტის მაღალი სიმკვრივე გააჩნია. ასეთი იონები წყალში იონების წყვილის სახითაა და არა ცალკეული იონების სახით. სავარაუდოდ, წვეთების დაჯახებების დროს წვეთიდან წვეთზე უფრო ადვილად გადაიტანება მარილის ის იონები, რომლებიც ხასიათდება მუხტის სიმკვრივის განსხვავებული მნიშვნელობებით, რის გამოც დისპერსიულ ფაზაში ასეთი იონები წყვილის სახით არ იქნებიან.

კერძოდ, ლითიუმის (მუხტის სიმკვრივე 52 კულონი/მმ³) და ფტორიდ (მუხტის სიმკვრივე 24 კულონი/მმ³) იონები არიან მუხტის მაღალი სიმკვრივის მქონე კოსმოტროპული იონები, რომლებიც წყალში გახსნისას იონური წყვილის სახით იარსებებს [185,186][კოლინზი,1997, კუნცი 2010]. ამიტომ ლითიუმის ფტორიდი გამოეთიშება მუხტის გადატანის პროცესს და უფრო ძლიერ გავლენას ახდენს პერკოლაციის პროცესზე (ფაქტიურად აქრობს პერკოლაციას), რადგან ნატრიუმის და კალიუმის ფტორიდები იონების სახით იქნებიან წყლის წვეთში და ნაკლებად თრგუნავენ პერკოლაციას, ვიდრე ლითიუმის ფტორიდი (ნახაზი 32).



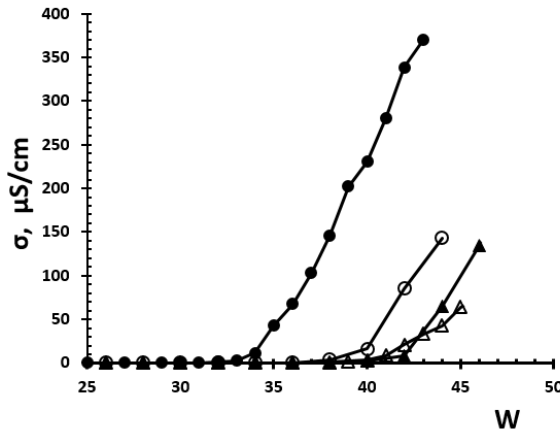
ნახაზი 32. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W-ზე შემდეგ სისტემებში: ♦ 0.2 M AOT/დეკანი/წყალი; ▲ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M NaF; □ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M KF; ● 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M LiF.

4.5.3. ქლორიდების დანამატების გავლენა ელექტრულ პერკოლაციაზე AOT/ნ-დეკანი/წყალი სისტემაში

ნატრიუმის, კალიუმის და ლითიუმის ქლორიდების წყალხსნარებით მოდიფიცირებული AOT/დეკანის მიკროემულსიების ხვედრითი ელგამტარობის W-ზე დამოკიდებულების ამსახველი მრუდები წარმოდგენილია ნახაზზე 33. აღნიშნული მარილების დანამატები ელექტრული პერკოლაციის დათრგუნვის უნარის ზრდის მიხედვით, ლაგდება რიგში (ნახ. 33; ცხრილი 1, სისტემები 2,3,5) :



კალიუმის ქლორიდის დანამატი მიკროემულსიაში ფაქტიურად აქრობს ელექტრულ პერკოლაციას, შედარებით ნაკლებად ნატრიუმის და უფრო ნაკლებად ლითიუმის ქლორიდების დანამატები (ნახაზი 33).



ნახაზი 33. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W-ზე შემდეგ სისტემებში:

● 0.2 M AOT/დეკანი/წყალი; ○ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M LiCl;

▲ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M NaCl; △ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M KCl.

ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ ლითიუმის (მუხტის სიმკვრივე 52 კულონი/მმ³) და ქლორიდ (მუხტის სიმკვრივე 8 კულონი/მმ³) იონები მუხტის სიმკვრივის განსხვავებული მნიშვნელობების გამო იქნებიან არა წყვილის, არამედ იონების სახით [185,186] [კოლინზი 1997, კუნცი 2010]. ამის გამო ლითიუმის ქლორიდის დანამატი უფრო ნაკლებად თრგუნავს პერკოლაციას წყლით ინდუცირებულ პერკოლაციურ რეჟიმში, ვიდრე ნატრიუმის (მუხტის სიმკვრივე 24 კულონი/მმ³) და კალიუმის (მუხტის სიმკვრივე 11 კულონი/მმ³) ქლორიდებით მოდიფიცირებული მიკროემულსიები.

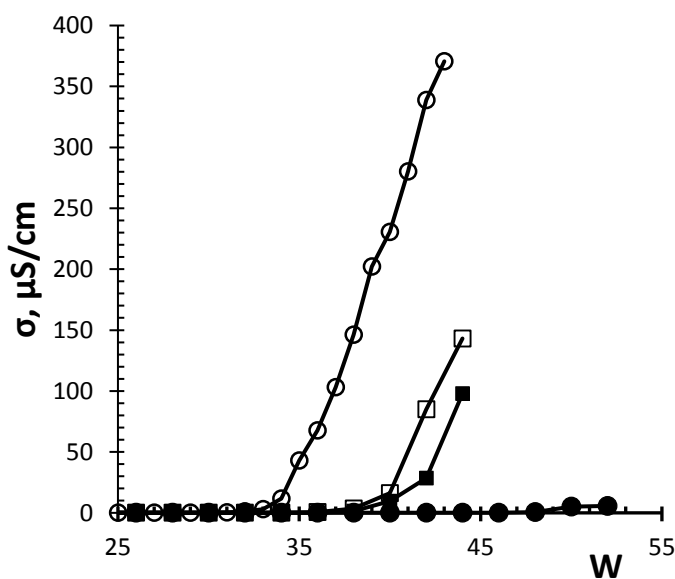
4.5.4. ლითიუმის სხვადასხვა მარილის გავლენა WIP ექსპერიმენტებში

თუ შევადარებთ ერთიდაიმავე კონცენტრაციის ლითიუმის სხვადასხვა მარილით მოდიფიცირებული მიკროემულსიების ელგამტარობის პერკოლაციაზე გავლენას, შევნიშნავთ, რომ პერკოლაციას თითქმის მთლიანად აქრობს ლითიუმის ფტორიდის დანამატი (ნახ.34 ; ცხრილი 1, სისტემა12).

როგორც ვიცით მცირე ზომის ჰიდრატირებული იონები მიიზიდებიან ძლიერ და

იონური წყვილის სახით არსებობენ ხსნარში [185,186] [ლიტ. კოლინზი 1997, კუნცი 2010]. ასეთი წყვილი, მუხტის გადატანაში მონაწილეობას ვერ იღებს, ამიტომ ლითიუმის ფტორიდის დანამატი პერკოლაციას თითქმის მთლიანად აქრობს.

„ხისტი“, (მაგარი) კოსმოტროპული ლითიუმის იონი და „რბილი“, ქაოტროპული პერქლორატი იონი ერთმანეთთან სუსტად მიიზიდება, ისინი იონების სახით იქნებიან ხსნარში და არა წყვილის სახით, ამის გამო პერკოლაცია მაინც დაიკვირვება (ნახაზი 34, ცხრილი 1, სისტემა 19). ლითიუმის პერქლორატის დანამატის ანალოგიურია ლითიუმის ქლორიდის შემთხვევა. ლითიუმის იონი მუხტის მაღალი სიმკვრივით ხასიათდება - 52 კულონი/მმ³, ამიტომ ქლორიდ იონი, რომლის სიმკვრივეა 8 კულონი/მმ³, ნაკლებად მიიზიდავს ლითიუმის იონს. ამიტომ ისინი არ გამოეთიშებიან მუხტის გადატანის პროცესს. ქლორიდ-იონი ლითიუმის იონთან ერთობლიობაში პერკოლაციას თრგუნავს, თუმცა უფრო ნაკლებად, ვიდრე ლითიუმის პერქლორატი.

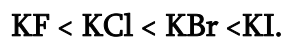


ნახაზი 34. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W -ზე შემდეგ სისტემებში: ○ 0.2 M AOT/დეკანი/წყალი; □ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M LiCl; ■ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M LiClO₄; ● 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M LiF.

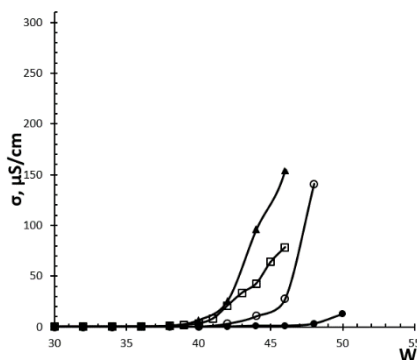
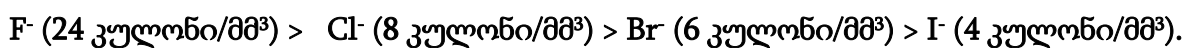
4.5.5. კალიუმის სხვადასხვა მარილის გავლენა WIP ექსპერიმენტებში.

თუ შევადარებთ ერთი და იმავე კონცენტრაციის კალიუმის სხვადასხვა მარილით მოდიფიცირებული მიკროემულსიების ელგამტარობის პერკოლაციაზე გავლენას, შევნიშნავთ, რომ პერკოლაციას თითქმის მთლიანად აქრობს კალიუმის იოდიდის დანამატი (ნახაზი 35; ცხრილი 1, სისტემა 16). როგორც ცნობილია კალიუმის იოდდი ორი „რბილი იონის“ ერთობლიობაა, რომელთაგან ორივე ხასიათდება მუხტის დაბალი სიმკვრივის მნიშვნელობით. ამიტომ ელექტროსტატიკური მიზიდვა მათ შორის უფრო სუსტია, ვიდრე „ხისტ“ კოსმოტროპულ იონებს შორის, მაგრამ ამავე დროს ღარიბი ჰიდრატული გარსის გამო იონური წყვილი მაინც წარმოიქმნება, თუმცა სავარაუდოდ უფრო ნაკლები ხარისხით, ვიდრე ამას ადგილი აქვს საპირისპირო მუხტის მქონე, მცირე ზომის ჰიდრატირებულ იონებს შორის, როგორიცაა ლითიუმის ფტორიდი.

უნდა აღინიშნოს, რომ პერკოლაციის დამთრგუნველი მოქმედება ყველაზე ნაკლებად ახასიათებს კალიუმის ფტორიდს, რომელიც ხსნარში იონურ წყვილს არ წარმოქმნის და ისინი იონების სახით არის წყლის წვეთში (ნახაზი 35, ცხრილი 2, სისტემა 14). დანარჩენი ანიონები კი კალიუმის იონთან ერთობლიობაში ლაგდებიან პერკოლაციის დათრგუნვის უნარის მიხედვით ისე, როგორც არიან განლაგებულნი ჰოფმაისტერის რიგში



ანიონების ასეთი განლაგება თანხვდება მათი მუხტის სიმკვრივის კლებას ფტორიდ-იონიდან იოდიდ-იონამდე:



ნახ. 35. ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება W -ზე შემდეგ სისტემებში: ▲ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M KF; □ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M KCl; ○ 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M KBr; ● 0.2 M AOT/დეკანი/0.002 M KI.

დასკვნები

- ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების მარილების წყალხსნარებით მოდიფიცირება თრგუნავს ელგამტარობის პერკოლაციას, რაც აისახება პერკოლაციის ზღურბლის მნიშვნელობის ზრდასა და ხვედრითი ელგამტარობის მნიშვნელობის შემცირებაში. ამასთან, წყლით ინდუცირებული პერკოლაცია მთლიანად ქრება შებრუნებული მიკროემულსიების 0.01 მოლური მარილების წყალხსნარებით მოდიფიცირებისას.
- წყლით ინდუცირებული ელგამტარობის პერკოლაციას ყველაზე უფრო ნაკლებად თრგუნავს ისეთი მარილების დანამატები, რომლის შემადგენელი იონები ხასიათდება მუხტის განსხვავებული სიმკვრივის მნიშვნელობებით, შედეგად ასეთი იონები ერთმანეთთან ნაკლებად ურთიერთქმედებენ და დისპერსიულ ფაზაში ცალკეული იონების სახით არსებობენ.

5. დასკვნა

1. შესწავლილია ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების ხვედრითი ელგამტარობის დამოკიდებულება წყლის და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოლურ თანაფარდობაზე ზეთის ფაზად ნ-დეკანის გამოყენებით, ასევე ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შერეული შებრუნებული მიკროემულსიების ელგამტარობის პერკოლაციის პროცესი განსხვავებული ბუნების ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებთან (ნატრიუმის ქოლატი, პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდი და პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერი) ერთობლიობაში.
2. კონდუქტომეტრიულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ არაიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების პოლიოქსიეთილენ (4) ლაურილის ეთერის დანამატი ხელს უწყობს ელექტრული პერკოლაციის დადგომას [წყალი]/[ზან] თანაფარდობის უფრო დაბალ მნიშვნელობაზე, ვიდრე მხოლოდ AOT-ის შებრუნებულ მიკროემულსიაში, კერძოდ, W_p -ს მნიშვნელობები მცირდება 32-დან 20, 13 და 9-მდე AOT-ის მოდიფიცირებისას $C_{12}E_4$ -ის მზარდი დანამატებით.
3. დადგენილია, რომ AOT-ის შებრუნებული მიკროემულსიების წყლის წვეთებში ბიოლოგიური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნატრიუმის ქოლატის კონცენტრაციის ზრდა იწვევს ელექტრული პერკოლაციის ზღურბლის შემცირებას და პერკოლაცია დგება წყლის/ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების თანაფარდობის უფრო დაბალ მნიშვნელობაზე, ვიდრე ამას ადგილი აქვს მხოლოდ AOT-ის საფუძველზე მომზადებულ შებრუნებულ მიკროემულსიაში.
4. აღმოჩნდა, რომ კათიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების პრომეტაზინის ჰიდროქლორიდის დანამატების (0.078 mM - 78 mM) შეტანა ნატრიუმის ბის(2-ეთილჰექსილ) სულფოსუქცინატის შებრუნებული მიკროემულსიების წყლის წვეთებში ელგამტარობის პერკოლაციას სრულიად აქრობს, რაც სავარაუდოდ გამოწვეულია წყალი/ზეთი ფაზათაშორისი ზედაპირის სიხისტის ზრდით და შედეგად ეფექტური დაჯახებების შემცირებით.
5. წყლით ინდუცირებული ელგამტარობის პერკოლაციას ყველაზე უფრო ნაკლებად თრგუნავს ისეთი მარილების დანამატები, რომლის შემადგენელი იონები

ხასიათდება მუხტის განსხვავებული სიმკვრივის მნიშვნელობებით, შედეგად ასეთი იონები ერთმანეთთან ნაკლებად ურთიერთქმედებენ და დისპერსიულ ფაზაში ცალკეული იონების სახით არსებობენ.

6. გამოყენებული ლიტერატურა

- [1]. Huang, Y.; Ni, N.; Zhao, L.; Zhang, J.; Shen, L. The preparation, evaluation and phase behavior of linker-based coix seed oil microemulsion. *J. Mol. Liq.* 2020, 319, 114314.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114314>
- [2]. Posocco, P.; Perazzo, A.; Preziosi, V.; Laurini, E.; Pricl, S.; Guido, S. Interfacial tension of oil/water emulsions with mixed non-ionic surfactants: Comparison between experiments and molecular simulations. *RSC Adv.* 2016, 6, 4723–4729.<https://doi.org/10.1039/C5RA24262B>
- [3]. Liu, J.; Wu, J.; Sun, J.; Wang, D.; Wang, Z. Investigation of the Phase Behavior of Food-grade Microemulsions by mesoscopic simulation. *Colloid Surf. A* 2015, 487, 75–83.
<https://doi.org/10.3390/molecules27041361>
- [4]. Yew, H.C.; Misran, M.B. Nonionic Mixed Surfactant Stabilized Water-in-Oil Microemulsions for Active Ingredient In Vitro Sustained Release. *J. Surfactants Deterg.* 2015, 19, 49–56. [CrossRef]
- [5]. Subongkot, T.; Ngawhirunpat, T. Development of a novel microemulsion for oral absorption enhancement of all-trans retinoic acid. *Int. J. Nanomed.* 2017, 12, 5585–5599.
- [6]. Subongkot, T.; Sirirak, T. Development and skin penetration pathway evaluation of microemulsions for enhancing the dermal delivery of celecoxib. *Colloids Surf. B Biointerfaces* 2020, 193, 111103.
- [7]. Gundogdu, E.; Alvarez, I.G.; Karasulu, E. Improvement of effect of water-in-oil microemulsion as an oral delivery system for fexofenadine: In vitro and in vivo studies. *Int. J. Nanomed.* 2011, 6, 1631–1640.
- [8]. You, J.; Meng, S.; Ning, Y.K.; Yang, L.Q.; Zhang, X.W.; Wang, H.N.; Li, J.J.; Yin, F.M.; Liu, J.; Zhai, Z.Y. et al. Development and application of an osthole microemulsion hydrogel for external drug evaluation. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 2019, 54, 101331. [CrossRef]
- [9]. Jaimes-Lizcano, Y.A.; Wang, Q.; Rojas, E.C.; Papadopoulos, K.D. Evaporative destabilization of double emulsions for effective triggering of release. *Colloid Surf. A* 2013, 423, 81–88. [CrossRef]
- [10]. Zhu, T.; Kang, W.; Yang, H.; Li, Z.; Zhou, B.; He, Y.; Wang, J.; Aidarova, S.; Sarsenbekuly, B. Advances of microemulsion and its applications for improved oil recovery. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2021, 299, 102527. [CrossRef]
- [11]. Zhou, Y.; Yin, D.; Wang, D.; Zhang, C.; Yang, Z. Experiment investigation of microemulsion enhanced oil recovery in low permeability reservoir. *J. Mater. Res. Technol.* 2020, 9, 8306–8313. [CrossRef]
- [12]. Mangaiyarkarasi, R.; Priyanga, M.; Santhiya, N.; Umadevi, S. In situ preparation of palladium nanoparticles in ionic liquid crystal microemulsion and their application in Heck reaction. *J. Mol. Liq.*

- 2020, 310, 113241. [CrossRef]
- [13]. Congiu, A.; Gila, L.; Caccianotti, L.; Fusco, R.; Busto, C.; Zanardi, S.; Salvalaggio, M. Microemulsions for luminescent solar concentrator application. *Sol. Energy* 2021, 216, 338–350. [CrossRef]
- [14]. Agrawal, P., Agrawal, S., AN OVERVIEW OF NEW DRUG DELIVERY SYSTEM: MICROEMULSION, www.ajpst.com
- [15]. Wu H., Zhou A., Lu C., Wang L. Examination of lymphatic transport of puerarin in unconscious lymph duct-cannulated rats after administration in microemulsion drug delivery systems. // *Eur. J. Pharm. Sci.* 2011. V. 42. № 4. P. 348-353.
- [16]. Mehta S.K., Kaur G. Microemulsions as carriers for therapeutic molecules. // *Recent Pat. Drug Deliv. Formul.* 2010. V. 4. № 1. P. 35-48.
- [17]. Sinha V.R., Singh A., Kumar R.V., Singh S., Kumria R., Bhinge J.R. Oral colon-specific drug delivery of protein and peptide drugs. // *Crit. Rev. Ther. Drug Carrier Syst.* 2007. V. 24. № 1. P. 63-92.
- [18]. Lopez-Quintela M.A., Tojo C., Blanco M.C., Garcia R.L., Leis J.R. Microemulsion dynamics and reactions in microemulsions. // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2004. V. 9. № 3/4. P. 264-278.
- [19]. El-Hefnawy M.E., Sakran M. Characteristics of lipase in dormant seeds catalyzed hydrolysis of olive oil in SDS-olive oil reversed microemulsions. // *Can. J. Chem. Eng.* 2014. V. 92. № 8. P. 1335-1339.
- [20]. Shrikhande J.J., Hassan P.A., Jayaram R.V. Condensation reaction of benzaldehyde and acetone in o/w microemulsions: Effect of microemulsion compositions. // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2010. V. 370. № 1/3. P. 64-71.
- [21]. Sathishkumar M., Jeong E.S., Yun S.E., Mun S.P., Rusling J.F. Bicontinuous microemulsion as a reaction medium for the β -glucosidase-catalyzed synthesis of n-hexyl- β -D-glucopyranoside. // *Enzyme Microb Technol.* 2008. V. 42. № 3. P. 252-258.
- [22]. Garcia-Rio L., Leis J.R., Mejuto J.C., Perez-Lorenzo M. Microemulsions as microreactors in physical organic chemistry. // *Pure Appl. Chem.* 2007. V. 79. № 6. P. 1111-1123.
- [23]. Santanna V.C., Silva A.C.M., Lopes H.M., Sampaio Neto F.A. Microemulsion flow in porous medium for enhanced oil recovery. // *J. Pet. Sci. Eng.* 2013. V. 105. P. 116-120.
- [24]. Dantas T.N.C., Dantas Neto A.A., Rossi C.G.F.T., Gomes D.A.A., Gurgel A. Use of microemulsion systems in the solubilization of petroleum heavy fractions for the prevention of oil sludge waste formation. // *Energy Fuels.* 2010. V. 24. № 4. P. 2312-2319.
- [25]. Hernandez-Torres M.A., Landy J.S., Dorsey J.G. Reversed micellar mobile phases for normal-phase

- chromatography. // *Anal. Chem.* 1986. V. 58. № 4. P. 744-747.
- [26]. Berthod A., Nicolas O., Porthault M. Water in oil microemulsions as mobile phase in liquid chromatography. // *Anal. Chem.* 1990. V. 62. № 14. P. 1402-1407.
- [27]. Berthod A., Laserna J.J., Carretero I. Oil-in-water microemulsions as mobile phases for rapid screening of illegal drugs in sports. // *J. Liq. Chromat. Rel. Technol.* 1992. V. 15. № 17. P. 3115-3127.
- [28]. Janci B., Medenica M., Ivanovic D., Malenovic A., Markovic S. Microemulsion liquid chromatographic method for characterisation of fosinopril sodium and fosinoprilat separation with chemometrical support. // *Anal. Bioanal. Chem.* 2005. V. 383. № 4. P. 687-694.
- [29]. Spornath A., Aserin A. Microemulsions as carriers for drugs and nutraceuticals. // *Adv. Colloid Interface Sci.* 2006. V. 128/130. P. 47-64.
- [30]. Altria K., Broderick M., Donegan S., Power J. Preliminary study on the use of water-in-oil microemulsion eluents in HPLC. // *Chromatographia.* 2005. V. 62. № 7/8. P. 341-348.
- [31]. Fatma, N.; Ansari, W.H.; Panda, M.; Kabir-ud-Din. A Systematic Study of Mixed Surfactant Solutions of a Cationic Ester-Bonded Dimeric Surfactant with Cationic, Anionic and Nonionic Monomeric Surfactants in Aqueous Media. *J. Surfactants Deterg.* 2013,16, 609–620. [CrossRef]
- [32]. Wu, J.; Mei, P.; Chen, W.; Li, Z.B.; Tian, Q.; Mei, Q.X. Surface Properties and Solubility Enhancement of Anionic/Nonionic Surfactant Mixtures Based on Sulfonate Gemini Surfactants. *J. Surfactants Deterg.* 2019, 22, 1331–1342. [CrossRef]
- [33]. Khimani, M.; Vora, S. Effect of Inorganic Additives on a Conventional Anionic-Nonionic Mixed Surfactant Systems in Aqueous Solution. *J. Surfactants Deterg.* 2011, 14, 545–554. [CrossRef]
- [34]. Pan, Y.; Xu, Y.; Zhu, L.; Liu, X.; Zhao, G.; Wang, S.; Yang, L.; Ma, T.; Liu, H. Stability and rheological properties of water-in-oil (W/O) emulsions prepared with a soyasaponin-PGPR system. *Future Foods* 2021, 4, 100096. [CrossRef]
- [35]. Moulik, S. P., & Paul, B. K. (1998). Structure, dynamics and transport properties of microemulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 78(2), 99–195. doi:10.1016/s0001-8686(98)00063-3
- [36]. Danielsson, I.; Lindman, B. *Colloids Surf.* 1981, 3, 391
- [37]. P Ekwall, I Danielsson, L Mandell, *Kolloid-Zeitschrift*, 1960. Springer
- [38]. Shinoda K., Kunieda H. *J. Colloid Interface Sci.*, 42 (1973), p. 381 doi.org/10.1016/0021-9797(87)90491-7
- [39]. Ahmad, S., Shinoda, K., Friberg, S., Microemulsions and phase equilibria. Mechanism of the formation of so-called microemulsions studied in connection with phase diagram. doi.org/10.1016/0021-9797(74)90076-9
- [40]. Fletcher, P., Self-assembly of micelles and microemulsions, *Colloid & Interface Science*, 1996 [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(96\)80050-1](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(96)80050-1)
- [41]. M.P. Pileni (Ed.), *Structure and Reactivity in Reverse Micelles*, El-sevier, Amsterdam, 1989.

- [42]. P.L. Luisi, B.E. Straub (Eds.), *Reverse Micelles: Biological and Technological Relevance of Amphiphilic Structures in Apolar Media*, Plenum Press, New York, 1984.
- [43]. P.L. Luisi, in: M. Gratzel, K. Kalyansundaram (Eds.), *Kinetics and Catalysis in Microheterogeneous Systems*, Ed., Marcel Dekker Inc., 1991, p. 115.
- [44]. O.A. El Seoud, Reversed micelles and water-in-oil microemulsions: formation and some relevant properties, in: W.L. Hinze (Ed.), *Organised Assemblies in Chemical Analysis*, vol. 1, JAI Press Inc., London, 1994.
- [45]. S.P. Mouik, B.K. Paul, *Adv. Colloid Interface Sci.* 78 (1998) 99.
- [46]. T.K. De, A. Maitra, *Adv. Colloid Interface Sci.* 59 (1995) 95.
- [47]. J.J. Silber, A. Biasutti, E. Abuin, E. Lissi, *Adv. Colloid Interface Sci.* 82 (1999) 189.
- [48]. M.A. Biasutti, N.M. Correa, J.J. Silber, *Curr. Topics Colloid Interface Sci.* 3 (1999) 35.
- [49]. A. Goto, Y. Ibuki, R. Goto, in: A.G. Volkov (Ed.), *Interfacial Catalysis*, Marcel Dekker Inc., New York, 2002, p. 391.
- [50]. G. Giammona, F. Goffredi, T. Liveri, G. Vassallo, Water Structure in Water/AOT/n-Heptane Microemulsions by FT-IR Spectroscopy, *J. Colloid Interface Sci.* 154 (2) (1992) 411-415.
- [51]. L.P. Novaki, O.A. El Seoud, A Fourier Transform Infrared Study on the Structure of Water Solubilized by Reverse Aggregates of Sodium and Magnesium Bis (2-ethylhexyl) sulfosuccinates in Organic Solvents, *J. Colloid Interface Sci.* 202 (1998) 391-398.
- [52]. S. Yuan, G. Zhou, G. Xu and G. Li, Investigations of Water Morphology in Reverse Micelles: Mesoscopic Simulation and IR Spectral Analysis, *J. Dispersion Sci. Technol.* 25 (6) (2004) 733-739.
- [53]. N.M. Correa, M.A. Biasutti, J.J. Silber, Micropolarity of Reverse Micelles of Aerosol-OT in n-Hexane, *J. Colloid Interface Sci.* 172 (1995) 71-76.
- [54]. R.D. Falcone, N.M. Correa, M.A., Biasutti, J.J. Silber, The use of acridine orange base(AOB) as molecular probe to characterize nonaqueous AOT reverse micelles, *J. Colloid Interface Sci.* 296 (2006) 356-364.
- [55]. D.Zhu, Z.A. Schelly, Investigation of the Microenvironment in Triton X-100 Reverse Micelles in Cyclohexane, Using Methyl Orange as a Probe, *Langmuir.* 8(1992)48-50
- [56]. L. Qi, J. Ma, Investigation of the Microenvironment in Nonionic Reverse Micelles Using Methyl Orange and Methylene Blue as Absorption Probes, *J. Colloid Interface Sci.* 197 (1998) 36 – 42.
- [57]. N.M. Correa, J.J. Silber, Binding of Nitroanilines to Reverse Micelles of AOT n-Hexane, *J. Mol. Liq.* 72 (1997) 163.
- [58]. R.D. Falcone, J.J. Silber, M.A. Biasutti, N.M. Correa, Binding of o-Nitroaniline to Nonaqueous AOT Reverse Micelles, *Organic Chemistry in Argentina, ARKIVOC*, vii, (2011) 369.
- [59]. H. Tan, I. Piletic, R. Riter, N. Levinger, M. Fayer, Dynamics of Water Confined on a Nanometer Length Scale in Reverse Micelles: Ultrafast Infrared Vibrational Echo Spectroscopy, *Phys. Rev. Lett.* 94 (2005) 0574051-0574054.

- [60]. T.K. Jain, M. Varshney, A. Maitra, Structural Studies of Aerosol OT Reverse Micellar Aggregates by FT-IR Spectroscopy, *J. Phys. Chem.* 93 (1989) 7409-7416.
- [61]. J. B. Brubach, A. Mermet, A. Filabozzi, P. Calavita, A. Gershek, P. Roy, Infrared investigation of water encapsulated in non ionic reverse micelles, *J.Phys. IV France* 10 (2000) Pr7-215-218.
- [62]. M.J. Lawrence, G.D. Rees, Microemulsion-based media as novel drug delivery systems, *Adv. Drug Delivery Rev.* 45 (2000) 89-121.
- [63]. O. Glatter, O. Orthaber, A. Stradner, G. Scherf, M. Fanun, Sugar-Ester Nonionic Microemulsion: Structural Characterization, *J Colloid Interfacial Science.* 241(2001) 215-225.
- [64]. Podlogar F, Gasperlin M, Tomsic M, Jamnik A, Rogac MB. Structural characterisation of water–Tween 40®/Imwitor 308®–isopropyl myristate microemulsions using different experimental methods, *Int. J. Pharm.* 276 (2004) 115-128.
- [65]. F. Podlogar, M.B. Rogac, M. Gasperlin, The effect of internal structure of selected water–Tween 40®-Imwitor 308®–IPM microemulsions on ketoprofene release. *Int J Pharm.* 302 (2005) 68-77.
- [66]. X. Zhang, Y. Chen, J. Liu, J. Zhao and E. Zhang, Investigation on the Structure of Water/AOT/IPM/Alcohols Reverse Micelles by Conductivity, Dynamic Light Scattering, and Small Angle X-ray Scattering. *J. Phys. Chem. B.* 116 (2012) 3723- 3734.
- [67]. R.D. Falcone, B. Baruah, E. Gaidamauskas, C.D. Rithner, N.M. Correa, J.J. Silber, D.C. Crans and N.E. Levinger, Layered Structure of Room-Temperature Ionic Liquids in Microemulsions by Multinuclear NMR Spectroscopic Studies, *Chem. Eur. J.* 17 (2011) 6837-6846.
- [68]. Bumajdad A., Eastoe J. Conductivity of water-in-oil microemulsions stabilized by mixed surfactants. *Journal of Colloid and Interface Science,* 274 (2004) 268–276.
- [69]. Paul B.K., Mitra R.K. Conductivity of reverse micellar systems of water/AOT + Brij-56 or Brij-58/IPM and their percolation under varied concentrations of amphiphiles and different additives. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects,* 273 (2006) 129–140.
- [70]. Zhang X., Chen Y., Liu J., Zhao J., Zhang E. Investigation on the Structure of Water/AOT/IPM/Alcohols Reverse Micelles by Conductivity, Dynamic Light Scattering, and Small Angle X-ray Scattering. *The journal of Physical Chemistry B.* 116 (2012) 3723- 3734.
- [71]. T.Butkhuzi, R. Chaladze, N. Lominadze, M. Rukhadze, M. Gvaramia, M.Kurtanidze, G. Bezarashvili, K.Sigua. Study of influence of ionic additives to AOT reverse microemulsions by liquid chromatography, IR and UV-visible spectroscopy. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects,* 442 98-104, (2014)
- [72]. R. Chaladze, M. Gvaramia, M. Kurtanidze, G.Bezarashvili , M.Rukhadze. Study of Influence of Salts Additives to Mixed Reverse Micelles via Reverse Microemulsion Chromatography and UV-visible spectroscopy. *Chemistry Letters,* 41 No. 10,1035-1037. (2012).
- [73]. M. Kurtanidze, T. Butkhuzi, M.Rukhadze, N. Kokiashvili, G. Bezarashvili, J. Marcus, W. Kunz, K.

- Sigua. Study of structural changes of water confined in Brij-30 reverse micelles: Realing influence of ionic additives. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 519, 98-105 (2017)
- [74]. H.F. Eicke, M. Borkovec, B. Dasgupta, *J. Phys. Chem.* 93 (1989) 314.
- [75]. A. Jada, J. Lang, R. Zana, *J. Phys. Chem.* 93 (1989) 10.
- [76]. A. Jada, J. Leng, R. Makhlouffu, E. Hirsch, S.J. Candau, *J. Phys. Chem.* 94 (1990) 387;
- [77]. L. Mukhopahyay, P.K. Bhattacharya, S.P. Moulik, *Colloids Surf.* 50 (1990) 295;
- [78]. Mukhopahyay, P.K. Bhattacharya, S.P. Moulik, *Ind. J. Chem.* 32A (1993) 485.
- [79]. T.H. Wiens, P. Somasundaran, *J. Colloid Interface Sci.* 256 (2002) 183.
- [80]. S. Ray, S.R. Bisal, S.P. Moulik, *J. Chem. Soc., Faraday Trans.* 89 (1993) 3277.
- [81]. T. Butkhuzi, M. Kurtanidze, R. Chaladze, M. Gvaramia, M. Rukhadze, G. Bezarashvili, K. Sigua, P. Pradhan. Investigation of the influence of nonionic additives on structural changes of water droplets encapsulated in AOT reverse micelles by instrumental methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 460 123–129, (2014)
- [82]. Senatra D. Comparative analysis of complex liquids based on a multi-experimental approach. *Advances in Colloid and Interface Science.* 128-130 (2006) 65-75.
- [83]. Mehta S.K., Kaur G., Bhasin K.K. Analysis of Tween based microemulsion in the presence of TB drug rifampicin. *Colloids and Surfaces B: Bionterfaces* 60 (2007) 95-104.
- [84]. S. Biswas, S.C. Bhattacharya, B.H. Bhowmik, S.P. Moulik, *J. Colloid Interface Sci.* 244 (2001) 145.
- [85]. A. Bumajdad, J. Eastoe, P. Griffiths, D.C. Steytler, R.K. Heenan, J.R. Lu, P. Thomas, *Langmuir* 15 (1999) 5271.
- [86]. S. Biswas, S.C. Bhattacharya, B.H. Bhowmik, S.P. Moulik, *J. Colloid Interface Sci.* 244 (2001) 145.
- [87]. D. Liu, J. Ma, H. Cheng, Z. Zhao, *Colloids Surf. A* 139 (1998) 21.
- [88]. Vasquez, V. R., Williams, B. C., & Graeve, O. A. (2011). Stability and Comparative Analysis of AOT/Water/Isooctane Reverse Micelle System Using Dynamic Light Scattering and Molecular Dynamics. *The Journal of Physical Chemistry B*, 115(12), 2979–2987. doi:10.1021/jp109202f
- [89]. Lipgens, D. Schubel, L. Schlicht, J.H. Spilgies, G. Ilgenfritz, J.E. Eastoe, R.K. Heenan, *Langmuir* 14 (1996) 1041, and references there in.
- [90]. A. Goto, S. Harada, T. Fujita, Y. Niera, H. Yoshioka, H. Kishimoto, *Langmuir* 9 (1993) 86;
- [91]. Goto, H. Yoshioka, H. Kishimoto, T. Fujita, *Langmuir* 8 (1992) 441.
- [92]. G. Pitarresi, C. Subriziolo, M.I.T. Liveri, V.T. Liveri, *J. Solution Chem.* 22 (1993) 279.
- [93]. K. Kurumada, A. Shioi, M. Harada, *J. Phys. Chem.* 100 (1996) 1020;
- [94]. Kurumada, A. Shioi, M. Harada, *J. Phys. Chem.* 99 (1995) 16982.

- [95]. Lu, L., & Berkowitz, M. L. (2004). Molecular Dynamics Simulation of a Reverse Micelle Self-Assembly in Supercritical CO₂. *Journal of the American Chemical Society*, 126(33), 10254–10255. doi:10.1021/ja048670i
- [96]. Zulauf, M., & Eicke, H. F. (1979). Inverted micelles and microemulsions in the ternary system water/aerosol-OT/isooctane as studied by photon correlation spectroscopy. *The Journal of Physical Chemistry*, 83(4), 480–486. doi:10.1021/j100467a011
- [97]. Kaler, E. W., Bennett, K. E., Davis, H. T., & Scriven, L. E. (1983). Toward Understanding Microemulsion Microstructure: A small-angle x-ray scattering study. *The Journal of Chemical Physics*, 79(11), 5673–5684. doi:10.1063/1.445688
- [98]. Hohner, A., Bayer, J., & Rädler, J. O. (2006). Wormlike lipid/DNA micelles in a non-polar solvent. *The European Physical Journal E*, 21(1), 41–48. doi:10.1140/epje/i2006-10043-y
- [99]. Kinugasa, T., Kondo, A., Nishimura, S., Miyauchi, Y., Nishii, Y., Watanabe, K., & Takeuchi, H. (2002). Estimation for the size of reverse micelles formed by AOT and SDEHP based on viscosity measurement. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 204(1-3), 193–199. doi:10.1016/s0927-7757(01)01132-3
- [100]. Mehta, S.K., & Sharma, S. (2006). Temperature-induced percolation behavior of AOT reverse micelles affected by poly(ethylene glycol)s. *Journal of Colloid and Interface Science*, 296(2), 690–699. doi:10.1016/j.jcis.2005.09.035
- [101]. Murgia, S., Palazzo, G., Mamusa, M., Lampis, S., & Monduzzi, M. (2009). Aerosol-OT Forms Oil-in-Water Spherical Micelles in the Presence of the Ionic Liquid bmimBF₄. *The Journal of Physical Chemistry B*, 113(27), 9216–9225. doi:10.1021/jp902970n
- [102]. Allen M. P., Tildesley D. J. Oxford University Press; New York: 1987 //Computer Simulation of Liquids (2nd edn) <https://doi.org/10.1093/oso/9780198803195.001.0001>
- [103]. Esselink, K., Hilbers, P. A. J., van Os, N. M., Smit, B., & Karaborni, S. (1994). Molecular dynamics Simulations of model oil/water/surfactant systems. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 91, 155–167. doi:10.1016/0927-7757(94)02877-x
- [104]. Pan, Y.; Xu, Y.; Zhu, L.; Liu, X.; Zhao, G.; Wang, S.; Yang, L.; Ma, T.; Liu, H. Stability and rheological properties of water-in-oil (W/O) emulsions prepared with a soyasaponin-PGPR system. *Future Foods* 2021, 4, 100096. [CrossRef]
- [105]. Li, J.Q.; Li, Y.F.; Zhong, J.F.; Teng, J.; Zang, H.; Song, H. Effect of cellulose nanocrystals on the formation and stability of oil in water emulsion formed by octenyl succinic anhydride starch. *LWT* 2021, 151, 112214. [CrossRef]

- [106]. Seddari, S.; Moulai-Mostefa, N.; Sabbache, H. Effect of pH on the stability of W/O/W double emulsions prepared by the mixture of biopolymers using the direct method. *Mater. Today Proc.* 2021, 49, 1030–1034. [CrossRef]
- [107]. Zhong, M.; Sun, Y.; Sun, Y.; Huang, Y.; Qi, B.; Li, Y. The effect of salt ions on the freeze-thaw stability and digestibility of the lipophilic protein-hydroxypropyl methylcellulose emulsion. *LWT* 2021, 151, 112202.
- [108]. Ravera, F.; Dziza, K.; Santini, E.; Cristofolini, L.; Liggieri, L. Emulsification and emulsion stability:
The role of the interfacial properties. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2021, 288, 102344. [CrossRef]
- [109]. Li, L.; He, M.; Yang, H.; Wang, N.; Kong, Y.; Li, Y.; Teng, F. Effect of soybean lipophilic protein–methyl cellulose complex on the stability and digestive properties of water-in-oil-in-water emulsion containing vitamin B12. *Colloid Surf. A* 2021, 629, 127364. [CrossRef]
- [110]. Okuro, P.K.; Gomes, A.; Costa, A.L.R.; Adame, M.A.; Cunha, R.A. Formation and stability of W/O-high internal phase emulsions (HIPEs) and derived O/W emulsions stabilized by PGPR and lecithin. *Food Res. Int.* 2019, 122, 252–262. [CrossRef]
- [111]. Huang, W.; Zhu, D.; Fan, Y.; Xuea, X.; Yanga, H.; Jiang, L.; Jiang, Q.; Chen, J.; Jiang, B.; Komarneni, S. Preparation of stable inverse emulsions of hydroxyethyl methacrylate and their stability evaluation by centrifugal coefficient. *Colloid Surf. A* 2020, 604, 125309. [CrossRef]
- [112]. Kayali, I.; Karaein, M.; Qamhie, K.; Wadaah, S.; Ahmad, W.; Olsson, U. Phase Behavior of Bicontinuous and Water/Diesel Fuel Microemulsions Using Nonionic Surfactants Combined with Hydrophilic Alcohol Ethoxylates. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2015, 36, 10–17. [CrossRef]
- [113]. Kayali, I.; Karaein, M.; Ahmed, W.; Qamhie, K.; Olsson, U. Alternative Diesel Fuel: Microemulsion Phase Behavior and Combustion Properties. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2016, 37, 894–899. [CrossRef]
- [114]. Acharya, B.; Guru, P.S.; Dash, S. Tween-80-n-Butanol-Diesel-Water Microemulsion System-A Class of Alternative Diesel Fuel. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2014, 35, 1492–1501. [CrossRef]
- [115]. Acharya, B.; Dash, S. Tuning commercial diesel to microemulsified and blended form: Phase behavior and implications. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2019, 40, 1159–1168. [CrossRef]
- [116]. Ashikhmin, A.; Piskunov, M.; Yanovsky, V.; Yan, W.M. Properties and Phase Behavior of Water-in- Diesel Microemulsion Fuels Stabilized by Nonionic Surfactants in Combination with Aliphatic Alcohol. *Energy Fuels* 2020, 34, 2135–2142. [CrossRef]
- [117]. Ashihmin, A.; Piskunov, M.; Roisman, I.; Yanovsky, V. Thermal stability control of the water-in-diesel microemulsion fuel produced by using a nonionic surfactant combined with aliphatic alcohols.

- J. Dispers. Sci. Technol. 2020, 41, 771–778. [CrossRef]
- [113]. Lbadaoui-Darvas, M.; Garberoglio, G.; Karadima, K.S.; Cordeiro, M.N.D.S.; Nenes, A.; Takahama, S. Molecular simulations of interfacial systems: Challenges, applications and future perspectives. *Mol. Simul.* 2021, 1–38. [CrossRef]
- [114]. Ma, J.; Yang, Y.L.; Li, X.G.; Sun, H.; He, L. Mechanisms of the stability and instability of water in oil emulsion stabilized by interfacially active asphaltenes: Role of hydrogen bonding reconstructing. *Fuel* 2021, 297, 120763. [CrossRef]
- [115]. Ma, J.; Song, X.Y.; Peng, B.L.; Zhao, T.; Luo, J.H.; Shi, R.F.; Zhao, S.L.; Liu, H.L. Multiscale molecular dynamics simulation study of polyoxyethylated alcohols self assembly in emulsion systems. *Chem. Eng. Sci.* 2020, 231, 116252. [CrossRef]
- [116]. Wang, F.X.; Cao, J.H.; Ling, Z.Y.; Zhang, Z.G.; Fang, X.M. Experimental and simulative investigations on a phase change material emulsion based liquid cooling thermal management system for a lithium ion battery pack. *Energy* 2020, 207, 118215. [CrossRef]
- [117]. Maiti, A.; McGrother, S. Bead-bead interaction parameters in dissipative particle dynamics: Relation to bead-size, solubility parameter, and surface tension. *J. Chem. Phys.* 2004, 120, 1594–1601. [CrossRef] [PubMed]
- [118]. Hoogerbrugge, P.J.; Koelman, J.M.V.A. Simulating Microscopic Hydrodynamic Phenomena with Dissipative Particle Dynamics. *Europhys. Lett.* 1992, 19, 155–160. [CrossRef]
- [119]. Groot, R.D.; Madden, T.J. Dynamic simulation of diblock copolymer microphase separation. *J. Chem. Phys.* 1998, 108, 8713–8724. [CrossRef]
- [120]. Lavagnini, E.; Cook, J.L.; Warren, P.B.; Williamson, M.J.; Hunter, C.A. A Surface Site Interaction Point Method for Dissipative Particle Dynamics Parametrization: Application to Alkyl Ethoxylate Surfactant Self-Assembly. *J. Phys. Chem. B* 2020, 124, 5047–5055. [CrossRef]
- [121]. Wang, X.; Santo, K.P.; Neimark, A.V. Modeling Gas-Liquid Interfaces by Dissipative Particle Dynamics: Adsorption and Surface Tension of Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide at the Air-Water Interface Interface. *Langmuir* 2020, 36, 14686–14698. [CrossRef]
- [122]. Wang, Y.; Wang, H.B.; Li, C.L.; Sun, S.Q.; Hu, S.Q. CO₂ responsive Pickering emulsion stabilized by modified silica nanoparticles A dissipative particle dynamics simulation study. *J. Ind. Eng. Chem.* 2021, 97, 492–499. [CrossRef]
- [123]. Zhang, H.; Xu, B.; Zhang, H. Mesoscopic simulation on the microemulsion system stabilized by bola surfactant. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2021. [CrossRef]
- [124]. Zhang, H.; Li, D.; Pei, L.; Zhang, L.J.; Wang, F. The Stability of the Micelle Formed by Chain Branch Surfactants and Polymer Under Salt and Shear Force: Insight from Dissipative Particle Dynamics Simulation. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2015, 37, 270–279. [CrossRef]
- [125]. Rekvig, L.; Kranenburg, M.; Hafskjold, B.; Smit, B. Effect of surfactant structure on interfacial

- properties. *Europhys. Lett.* 2003, 63, 902–907. [CrossRef]
- [126]. Wang, S.; Yang, S.; Wang, R.; Yan, Z. Dissipative particle dynamics study on the temperature-dependent interfacial tension in surfactant-oil-water mixtures. *J. Pet. Sci. Eng.* 2018, 169, 81–95. [CrossRef]
- [127]. Zhang, H.; Zhu, Z.; Wu, Z.; Wang, F.; Xu, B.; Wang, S.; Zhang, L. Investigation on the formation and stability of microemulsions with Gemini surfactants: DPD simulation. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2021. [CrossRef]
- [128]. Chen, Z.; Cheng, X.; Cui, H.; Cheng, P.; Wang, H. Dissipative particle dynamics simulation of the phase behavior and microstructure of CTAB/octane/1-butanol/water microemulsion. *Colloid Surf. A* 2007, 301, 437–443. [CrossRef]
- [129]. Zhang, Y.; Yang, N.; Xu, Y.; Wang, Q.; Huang, P.; Nishinari, K.; Fang, Y. Improving the Stability of Oil Body Emulsions from Diverse Plant Seeds Using Sodium Alginate. *Molecules* 2019, 24, 3856. [CrossRef]
- [130]. Klinkenberg, A.; van der Minne, J. L. *Electrostatics in the Petroleum Industry*; Elsevier: New York, 1958.
- [131]. Nelson, S.; Pink, R. Solutions of Metal Soaps in Organic Solvents, The Aggregation of Metal Soaps in Toluene, Isobutyl Alcohol, and Pyridine. *J. Chem. Soc.* 1952, No. MAY, 1744–1750.
- [132]. Nelson, S.; Pink, R. Solutions of Metal Soaps in Organic Solvents. .14. Direct-Current Conductivity in Solutions of Some Metal Oleates in Toluene. *J. Chem. Soc.* 1954, No. DEC, 4412–4417.
- [133]. Eastoe, J.; Warne, B. Nanoparticle and Polymer Synthesis in Microemulsions. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 1996, 1 (6), 800–805.
- [134]. Ju, X.; Huang, P.; Xu, N.; Shi, J. Studies on the Preparation of Mesoporous Titania Membrane by the Reversed Micelle Method. *J. Membr. Sci.* 2002, 202 (1–2), 63–71.
- [135]. Dong, X.-Y.; Meng, Y.; Feng, X.-D.; Sun, Y. A Metal-Chelate Affinity Reverse Micellar System for Protein Extraction. *Biotechnol. Prog.* 2010, 26 (1), 150–158.
- [136]. Liu, Y.; Dong, X.-Y.; Sun, Y. Protein Separation by Affinity Extraction with Reversed Micelles of Span. *Sep. Purif. Technol.* 2007, 53 (3), 289–295.
- [137]. Naoe, K.; Ura, O.; Hattori, M.; Kawagoe, M.; Imai, M. Protein Extraction Using Non-Ionic Reverse Micelles of Span 60. *Biochem. Eng. J.* 1998, 2 (2), 113–119.
- [138]. Cummings, S.; Xing, D.; Enick, R.; Rogers, S.; Heenan, R.; Grillo, I.; Eastoe, J. Design Principles for Supercritical CO₂ Viscosifiers. *Soft Matter* 2012, 8 (26), 7044–7055.

- [139]. Peach, J.; Eastoe, J. Supercritical Carbon Dioxide: A Solvent like No Other. *Beilstein J. Org. Chem.* 2014, 10, 1878–1895.
- [140]. Chaitanya, V. S. V.; Senapati, S. Self-Assembled Reverse Micelles in Supercritical CO₂ Entrap Protein in Native State. *J. Am. Chem. Soc.* 2008, 130 (6), 1866–1870
- [141]. Gacek, M. M.; Berg, J. C. Investigation of Surfactant Mediated Acid–Base Charging of Mineral Oxide Particles Dispersed in Apolar Systems. *Langmuir* 2012, 28 (51), 17841–17845.
- [142]. Espinosa, C. E.; Guo, Q.; Singh, V.; Behrens, S. H. Particle Charging and Charge Screening in Nonpolar Dispersions with Nonionic Surfactants. *Langmuir* 2010, 26 (22), 16941–16948.
- [143]. Guo, Q.; Lee, J.; Singh, V.; Behrens, S. H. Surfactant Mediated Charging of Polymer Particles in a Nonpolar Liquid. *J. Colloid Interface Sci.* 2013, 392, 83–89.
- [144]. Guo, Q.; Singh, V.; Behrens, S. H. Electric Charging in Nonpolar Liquids Because of Nonionizable Surfactants. *Langmuir* 2009, 26 (5), 3203–3207.
- [145]. Michor, E. L.; Berg, J. C. The Temperature Effects on Micelle Formation and Particle Charging with Span Surfactants in Apolar Media. *Langmuir* 2015, 31 (35), 9602–9607.
- [146]. HP ElectroInk FAQ Document. Hewlett-Packard Development Co. 2012.
- [147]. Morrison, I. D. Electrical Charges in Nonaqueous Media. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 1993, 71 (1), 1–37.
- [148]. Berg, J. C. *An Introduction to Interfaces and Colloids: The Bridge to Nanoscience*, 1st ed.; World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010.
- [149]. Michor, E. L.; Berg, J. C. Extension to the Charge Fluctuation Model for the Prediction of the Conductivity of Apolar, Reverse Micellar Systems. *Langmuir* 2012, 28 (45), 15751–15755.
- [150]. Smith, G. N.; Eastoe, J. Controlling Colloid Charge in Nonpolar Liquids with Surfactants. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2012, 15 (2), 424–439.
- [151]. Gacek, M.; Bergsman, D.; Michor, E.; Berg, J. C. Effects of Trace Water on Charging of Silica Particles Dispersed in a Nonpolar Medium. *Langmuir* 2012, 28 (31), 11633–11638.
- [152]. Gacek, M. M.; Berg, J. C. The Role of Acid-Base Effects on Particle Charging in Apolar Media. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2015, 220, 108–123.

- [153]. V.R. Hande, S. Chakrabarty, Exploration of the presence of bulk-like water in AOT reverse micelles and water-in-oil nanodroplets: the role of charged interfaces, confinement size and properties of water, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 18 (2016) 21767–21779. doi:10.1039/C6CP04378J
- [154]. I.V. Kopanichuk, A.A. Vanin, E.N. Brodskaya, The Dipole Moment of Reverse Micelles according to Computer Simulation Data, *Colloid J.* 80 (2018) 184–188. doi:10.1134/S1061933X18020059
- [155]. Małycha, K., Pocheć, M., & Orzechowski, K. (2019). Nonlinear dielectric effect in reverse micelle systems. *Journal of Molecular Liquids*, 111344. doi:10.1016/j.molliq.2019.111344
- [156]. Pugh, R. J.; Matsunaga, T.; Fowkes, F. M. The Dispersibility and Stability of Carbon Black in Media of Low Dielectric Constant. 1. Electrostatic and Steric Contributions to Colloidal Stability. *Colloids Surf.* 1983, 7 (3), 183–207.
- [157]. Kosmulski, M. Chemical Properties of Material Surfaces. In *Surfactant Science Series*; Marcel Dekker: New York, 2001; Vol. 102, p 754.
- [158]. Gacek, M. M.; Berg, J. C. Effect of Synergists on Organic Pigment Particle Charging in Apolar Media. *ELECTROPHORESIS* 2014, 35 (12–13), 1766–1772.
- [159]. Gacek, M.; Brooks, G.; Berg, J. C. Characterization of Mineral Oxide Charging in Apolar Media. *Langmuir* 2012, 28 (5), 3032–3036.
- [160]. Poovarodom, S.; Berg, J. C. Effect of Particle and Surfactant Acid–base Properties on Charging of Colloids in Apolar Media. *J. Colloid Interface Sci.* 2010, 346 (2), 370–377.
- [161]. Gacek, M. M.; Berg, J. C. Effect of Surfactant Hydrophile-Lipophile Balance (HLB) Value on Mineral Oxide Charging in Apolar Media. *J. Colloids Interface Sci.* 2015, 449, 192–197.
- [162]. Lagues, M.: (1978). Study of structure and electrical conductivity in microemulsions: Evidence for percolation mechanism and phase inversion. *J. Phys. (France) Lett.*, 39, L487-L491. ISSN 0003-6951
- [163]. Chatterjee S., Mitra R.K., Paul B.K., Bhattacharya S.C.: Interface of AOT/Brij Mixed Reverse Micellar Systems: Conductometric and Spectroscopic Investigations. *Journal of Colloid and Interface Science* 298 (2006) 935-941
- [164]. Lagues, M. (1978). Study of structure and electrical conductivity in microemulsions: Evidence for percolation mechanism and phase inversion. *J. Phys. (France) Lett.*, 39, L487-L491. ISSN0003-6951

- [165]. S. K. Hait and S. P. Moulik, M. P. Rodgers, S. E. Burke, and R. Palepu. Physicochemical Studies on Microemulsions. 7. Dynamics of Percolation and Energetics of Clustering in Water/AOT/Isooctane and Water/AOT/Decane w/o Microemulsions in Presence of Hydrotopes (Sodium Salicylate, r-Naphthol, α -Naphthol, Resorcinol, Catechol, Hydroquinone, Pyrogallol and Urea) and Bile Salt (Sodium Cholate) *J. Phys. Chem. B* 2001, 105, 7145-7154
- [166]. S. K. Hait, A. Sanyal, and S. P. Moulik* Physicochemical Studies on Microemulsions. The Effects of Aromatic Methoxy Hydrotropes on Droplet Clustering and Understanding of the Dynamics of Conductance Percolation in Water/Oil Microemulsion Systems. *J. Phys. Chem. B* 2002, 106, 12642-12650
- [167]. Li Q., Li T., Wu J.: Water Solubilization capacity and conductance behaviors of AOT and NaDEHP systems in the presence of additives. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 197 (2002) 101-109
- [168]. Liu D., Ma J., Cheng H., Zhao Z.: Investigation on the conductivity and microstructure of AOT/non-ionic surfactants/water/n-heptane mixed reverse micelles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 135 (1998) 157-164
- [169]. Li Q., Li T., Wu J.: Electrical Conductivity of Water/Sodium Bis(2-ethylhexyl) Sulfosuccinate/n-Heptane and Water/Sodium Bis(2-ethylhexyl) Phosphate/n-Heptane Systems: The Influences of Water Content, Bis(2-ethylhexyl) Phosphoric Acid and Temperature. *Journal of Colloid and Interface Science* 239, 522-527 (2001)
- [170]. Paul B.K., Mitra R.K.: Water solubilization capacity of mixed reverse micelles: Effect of surfactant component, the nature of the oil, and electrolyte concentration. *Journal of Colloid and Interface Science* 288 (2005) 261-279
- [171]. Mitra R.K., Paul B.K.: Investigation on percolation in conductance of mixed reverse micelles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 252 (2005) 243-259
- [172]. Paul B.K., Mitra R.K.: Percolation phenomenon in mixed reverse micelles: The effect of additives. *Journal of Colloid and Interface Science* 295 (2006) 230-242
- [173]. Kundu K., Paul B.K.: Physicochemical investigation of mixed surfactant reverse micelles: Water solubilization and conductometric studies. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.05.009>
- [174]. Eicke H.-F., Borkovec M., Daw-Gupta B.: Conductivity of water-in- oil microemulsions: A Quantitative Charge Fluctuation Model. *J.Phys.Chem.* 93 (1989) 314-

- [175]. Eicke H.-F., Thomas H.: Charge Transport in percolated water-in-oil microemulsions. *Langmuir*, 15 (1999) 400-404 doi.org/10.1021/la980955j
- [176]. Derjaguin, B.: On the repulsive forces between charged colloid particles and on the theory of slow coagulation and stability of lyophobic sols, *Trans. Faraday Soc.* 1940, 35, 203-215
- [177]. Correa, M.N., Biasutti, M.A., Silber, J.J.: Micropolarity of reverse micelles: Comparison between Anionic, cationic and nonionic reverse micelles. *Journal of Colloid and Interface Science* 1996, 184, 570-578 DOI: [10.1006/jcis.1996.0653](https://doi.org/10.1006/jcis.1996.0653)
- [178]. Arcoletto, V., Goffredi, M., & Turco Liveri, V. (1995). Electrical conductivity and permittivity of water-AOT-n-heptane microemulsions. *Journal of Solution Chemistry*, 24(11), 1135–1142. <https://doi.org/10.1007/BF00972944>
- [179]. Schübel et al. Modelled temperature-dependent conductivity and discussed microviscosity effects(1996)
- [180]. Lipgens, S., Schübel, D., Schlicht, J. H., Spilgies, G., Ilgenfritz, G., Eastoe, J. E., & Heenan, R. K. (1996). Percolation in microemulsions. *Langmuir*, 14(5), 1041–1047. <https://doi.org/10.1021/la9502926>
- [181]. Schübel, D., & Ilgenfritz, G. (1997). Temperature dependence of the electrical conductivity in microemulsions. *Langmuir*, 13(16), 4246–4250. <https://doi.org/10.1021/la9609837>.
- [182]. Pizzino, A., Goffredi, M., & Turco Liveri, V. (2002). The role of the oil phase on the conductivity of water/AOT/oil microemulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 204(1–3), 153–161. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)01132-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)01132-1)
- [183]. Chakraborty, T., Dey, J., & Moulik, S. P. (2010). Conductivity and Percolation in Microemulsions: A comparative study. *Journal of Molecular Liquids*, 156(1), 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2010.02.019>
- [184]. Bidyut K. Paul, Rajib K. Mitra, Conductivity of reverse micellar systems of water/AOT + Brij-56 or Brij-58/IPM and their percolation under varied concentrations of amphiphiles and different additives, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 273 (2006) 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.08.013>
- [185]. Collins, K. D. Charge Density-dependent Strength of Hydration and Biological Structure. *Biophys. J.* 1997, 72, 65–76. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(97\)78647-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(97)78647-8).
- [186]. Kunz, W.: Specific ion effects in colloidal and biological systems, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 15 (2010) 34–39. doi.org/10.1016/j.cocis.2009.11.008

სადისერტაციო თემასთან დაკავშირებით გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომი
იმპაქტ-ფაქტორიან ჟურნალებში:

- **I.Tikanadze, M.Kurtanidze, M. Rukhadze, K. Nanobashvili, P. Toidze, G. Bezarashvili¹, K. Sigua, Structure of Mixed Reverse Microemulsions Based on Sodium Bis (2-Ethylhexyl) Sulfosuccinate and Sodium Cholate, J Surfact Deterg(2019), <https://doi.org/10.1002/jsde.12381>**
- **M. Kurtanidze, T. Butkhuzi, I. Tikanadze, R. Chaladze, M. Gvaramia, K. Nanobashvili, M. Alexishvili, P. Toidze and Marina Rukhadze, Interaction of Surface Active Drug Promethazine Hydrochloride with Surfactants: Drug Release from Microemulsions, Tenside Surf. Det. 58 (2021) 5. DOI:[10.1515/tsd-2020-2351](https://doi.org/10.1515/tsd-2020-2351)**
- **K. Nanobashvili, I.Tikanadze, M. Rukhadze*, M.Tchrelashvili and M.Alexishvili, Study of Influence of Salt Additives on the Electrical Percolation Phenomenon in AOT Reverse Microemulsions, Tenside Surf. Det.(2025) <https://doi.org/10.1515/tsd-2025-2658>**