



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ
ΘΕΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γαλακτώματα. Τύποι γαλακτωμάτων. Μέθοδοι παρασκευής γαλακτωμάτων.

Μεταφορά επιστημονικής γνώσης στην εκπαιδευτική διαδικασία

ΝΤΟΥΝΤΟΥΛΑΚΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

ΚΟΛΙΑΔΗΜΑ ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΚΑΠΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, στο πρώτο της μέρος, προσεγγίζει την θεματική ενότητα των γαλακτωμάτων μέσω της επισκόπησης της σχετικής βιβλιογραφίας, με συλλογή δεδομένων, ανάλυση, σύνδεση και σύνθεση των ευρημάτων, ώστε να περιγραφεί τι είναι τα γαλακτώματα, σε ποιους τύπους ανήκουν και πως παρασκευάζονται.

Τα γαλακτώματα είναι συστήματα δυο μη αναμίξιμων φάσεων, συνήθως νερού και ελαίου, οι οποίες όμως, μετά από κατάλληλες διαδικασίες, περνάνε σε μια μορφή ανάμιξης όπου μικρά σταγονίδια της μιας, διασπείρονται στην άλλη και αυτή η κατάσταση μπορεί να έχει σταθερότητα στο χρόνο, υπό προϋποθέσεις. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτη είναι η χρήση των γαλακτωμάτων στις βιομηχανίες φαρμάκων και τροφίμων καθώς, τους προσδίδει μεγάλα πλεονεκτήματα.

Τα γαλακτώματα συνίστανται από τις περιοχές της διασπαρμένης - σταγονοειδούς φάσης, της συνεχούς φάσης και της διεπιφάνειας, με την καθεμία από αυτές να προσελκύει διαφορετικά είδη μορίων ανάλογα με τη συγκέντρωση και την πολικότητά τους. Ανεξάρτητα από το είδος του γαλακτώματος, ο/w ή w/o, είναι καθοριστική η παρουσία του γαλακτωματοποιητή, ενός αμφιφιλικού μορίου το οποίο προσροφάται στην διεπιφάνεια, μειώνει την μεσεπιφανειακή τάση και σταθεροποιεί το προϊόν. Σε βιομηχανικό επίπεδο, για την παρασκευή ενός γαλακτώματος μπορεί να απαιτηθεί σημαντική εισροή ενέργειας εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας των περιοχών του και των πολλών σταγονιδίων του. Ακολουθούνται μέθοδοι χαμηλής ή υψηλής ενέργειας με δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφορετικών κατάλληλων συσκευών ομογενοποίησης, ανάλογα με το είδος του γαλακτώματος.

Η σταθερότητα ενός γαλακτώματος δηλαδή η διατήρηση των ιδιοτήτων του, παρά τις ενδεχόμενες φυσικοχημικές διαδικασίες που εξελίσσονται με το χρόνο, είναι ένα καθοριστικό ζητούμενο και αναπτύσσονται κατάλληλες στρατηγικές, ανάλογα με την περίπτωση.

Τα χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων, μπορούν να προσδιοριστούν με διάφορες φυσικοχημικές μεθόδους. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από αυτές των συστατικών τους. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση με τα αισθητήρια όργανα του ανθρώπινου σώματος. Οι αντιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού καθορίζονται από τη

φυσιολογία του και η διαχείριση των ερεθισμάτων υπόκειται σε επεξεργασία από τον εγκέφαλο και όλο αυτό οδηγεί στο αν ένα προϊόν γαλακτώματος θα εγκριθεί ή όχι από τον τελικό αποδέκτη.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας αυτής, διαμορφώνεται μια διδακτική προσέγγιση, μέσω ενός διδακτικού σεναρίου κατάλληλου για τους τελειόφοιτους μαθητές του λυκείου, ώστε να γίνει μεταφορά της επιστημονικής γνώσης στην εκπαιδευτική διαδικασία με απώτερο στόχο να εμβαθύνει τις γνώσεις τους σε θέματα διαμοριακών δυνάμεων και να τις επεκτείνει μέσα από τη γνωριμία με εφαρμογές τους που συναντούν στην καθημερινότητα, σχετικές με τα γαλακτώματα. Παράλληλα οι μαθητές θα εξοικειωθούν με εργαστηριακές τεχνικές και θα προσεγγίσουν την πειραματική όψη της Χημείας που ενδεχομένως έχει παραμεληθεί κάτω από το βάρος της προετοιμασίας για τις επικείμενες εξετάσεις.

SUMMARY

This master's thesis, in its first part, approaches the thematic unit of emulsions through a review of the relevant bibliography, with data collection, analysis, connection and synthesis of findings, to describe what emulsions are, which types they belong to, and how they are prepared.

Emulsions are systems of two immiscible phases, usually water and oil, which however, after appropriate processes, transition into a form of mixing where small droplets of one are dispersed into the other; this state can remain stable over time under certain conditions. Particularly noteworthy is the use of emulsions in the pharmaceutical and food industries, as they offer significant advantages.

Emulsions consist of the regions of the dispersed (droplet) phase, the continuous phase and the interface, with each of these attracting different types of molecules depending on their concentration and polarity. Regardless of the type of emulsion (o/w or w/o), the presence of an emulsifier is decisive -an amphiphilic molecule that absorbs at the interface, reduces interfacial tension, and stabilizes the product. At an industrial level, the preparation of an emulsion may require a significant input of energy due to the large surface area of its regions and its numerous droplets. Low or high-energy methods are followed, with the option to choose between different suitable homogenization devices, depending on the type of emulsion.

The stability of an emulsion - meaning the preservation of its properties despite potential physicochemical processes that evolve over time -is a critical requirement and appropriate strategies are developed depending on the case.

The characteristics of emulsions can be determined using various physicochemical methods. The physicochemical properties of an emulsion depend on those of its components. The organoleptic properties of an emulsion depend on the interaction with the sensory organs of the human body. The reactions of the human organism are determined by its physiology, and the management of stimuli is subject to processing by the brain; all of this leads to whether or not an emulsion product will find acceptance by the final recipient.

In the second part of this thesis, a didactic approach is formulated through a teaching scenario suitable for 3d year of Lyceum students, so that scientific knowledge is transferred into the educational process. The ultimate goal is to deepen their knowledge

about intermolecular forces and to extend it by introducing them to applications they encounter in daily life related to emulsions. At the same time, students will become familiar with laboratory techniques and approach the experimental side of Chemistry, which may have been neglected under the pressure of preparation for upcoming exams.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	σελ.2
Summary	σελ.4
ΜΕΡΟΣ Α	σελ.9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	σελ.10
1.1 Εισαγωγή	σελ.10
1.2 Ορισμός γαλακτώματος	σελ.11
1.3 Τύποι γαλακτωμάτων	σελ.13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	σελ.18
2.1 Ομογενοποίηση	σελ.18
2.1.1 Γενικά	σελ.18
2.1.2 Συσκευές ομογενοποίησης	σελ.22
2.2 Γαλακτωματοποιητές	σελ.27
2.2.1 Δράση γαλακτωματοποιητών	σελ.27
2.2.2 Κατηγορίες γαλακτωματοποιητών	σελ.30
2.2.3 Υδροκολλοειδή	σελ.34
2.3 Σταθερότητα γαλακτωμάτων. Μηχανισμοί	σελ.35
2.4 Ιδιότητες γαλακτωμάτων	σελ.41
2.4.1 Γενικά	σελ.41
2.4.2 Ιδιότητες	σελ.43
2.4.3 Χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων και φυσικοχημικές μέθοδοι	σελ.46
ΜΕΡΟΣ Β	σελ.51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Διερευνητική μάθηση	σελ.52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Από τη θεωρία στην πράξη	σελ.55
2.1 Διατύπωση διδακτικών στόχων, γενικά	σελ.55
2.2 Το διδακτικό σενάριο	σελ.56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Τα κολλοειδή είναι διεπιστημονική περιοχή	σελ.11
Εικόνα 2. (Α) Γαλάκτωμα τύπου έλαιο σε νερό και (Β) Γαλάκτωμα τύπου νερό σε έλαιο	σελ.13
Εικόνα 3. Διαφορετικοί τύποι γαλακτωμάτων (Schramm 2005)	σελ.14
Εικόνα 4. Γαλάκτωμα (w/o/w): νερό σε λάδι, σε νερό	σελ.14
Εικόνα 5. Σχηματική αναπαράσταση της διαφοράς μεταξύ της θερμοδυναμικής και της κινητικής σταθερότητας	σελ.21
Εικόνα 6. Συσκευή ανάμιξης γαλακτωμάτων	σελ.22
Εικόνα 7. Αναδευτήρας υψηλής ταχύτητας, σχήμα	σελ.23
Εικόνα 8. Τυπική συσκευή υπερήχων μετατροπέα, σχήμα	σελ.24
Εικόνα 9. Τυπική συσκευή υπερήχων με ψεκασμό υγρού, σχήμα	σελ.25
Εικόνα 10. Σχηματική διάταξη ομογενοποιητή υψηλής πίεσης	σελ.25
Εικόνα 11. Σχηματική διάταξη μύλου κολλοειδών	σελ.26
Εικόνα 12. Σχηματική απεικόνιση ενός μορίου γαλακτωματοποιητή	σελ.28
Εικόνα 13. Διάταξη μορίων γαλακτωματοποιητή με υψηλή HLB, σε γαλάκτωμα o/w και με χαμηλή HLB, σε γαλάκτωμα	σελ.28
Εικόνα 14. Αναπαράσταση των διεργασιών που καταστρέφουν τα γαλακτώματα, σχήμα	σελ.35
Εικόνα 15. Αποκορύφωση σε σχέση με το χρόνο, σε γαλάκτωμα τύπου έλαιο σε νερό, σχήμα	σελ.37
Εικόνα 16. Η μέση διάμετρος αυξάνεται καθώς τα σταγονίδια συσσωματώνονται και τελικά η υδατική με την ελαιώδη φάση διαχωρίζονται πλήρως	σελ.30
Εικόνα 17. Σχηματική αναπαράσταση της ωρίμανσης κατά Ostwald	σελ.40
Εικόνα 18. Η ωρίμανση κατά Ostwald, παρεμποδίζεται με την προσθήκη βοηθητικής ουσίας	σελ.40
Εικόνα 19. Διακριτές περιοχές γαλακτώματος	σελ.42
Εικόνα 20. Η δομή των μορίων του γαλακτωματοποιητή και οι αλληλεπιδράσεις τους με την διεπιφάνεια, καθορίζουν τη δομή και τις ιδιότητες της διεπιφάνειας των σταγονιδίων	σελ.44
Εικόνα 21. Διερευνητικό μοντέλο διδασκαλίας – Μοντέλο των 5E	σελ.52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Σύνθεση γαλακτωμάτων	σελ.13
Πίνακας 2. Σύγκριση μεγέθους σταθερότητας και φυσικοχημικών ιδιοτήτων διαφορετικών τύπων γαλακτωμάτων	σελ.15
Πίνακας 3. Μέθοδοι χαμηλής και υψηλής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή διαφορετικών τύπων γαλακτωμάτων	σελ.18
Πίνακας 4. Τιμές HBL και αντίστοιχες εφαρμογές γαλακτωματοποιητών	σελ.29
Πίνακας 5. Μέθοδοι προσδιορισμού φυσικοχημικών χαρακτηριστικών γαλακτωμάτων	σελ.50

ΜΕΡΟΣ Α

ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ - ΤΥΠΟΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ - ΤΥΠΟΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

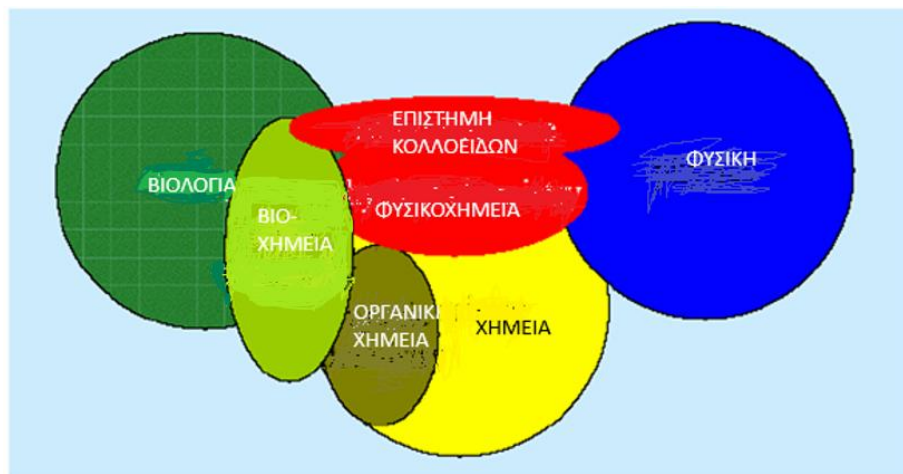
Συστήματα με τουλάχιστον δυο μη αναμιξιμες φάσεις, ονομάζονται διασπορές (dispersions). Ένα σύστημα διασποράς συνίσταται από μια διασπαρμένη φάση μέσα σε μια με συνεχή ροή. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι διασπορών ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της διασπαρμένης φάσης: αφοί αερίου σε υγρό μίγμα, εναιωρήματα στερεού σε υγρό μίγμα και γαλακτώματα υγρού σε υγρό μίγμα (Goodarzi et al., 2018). Ήδη από τον 2^ο μ.Χ. αιώνα καταγράφεται μια συνταγή του Γαληνού για κρέμα-γαλάκτωμα πράγμα που σηματοδοτεί την εμφάνιση των γαλακτωμάτων στην Φαρμακευτική.

Σήμερα, στον τομέα αυτό, τα γαλακτώματα, χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλη έκταση. Υγρά γαλακτώματα, δίνουν την μορφή τους σε σκευάσματα που χορηγούνται είτε από το στόμα ή τοπικά ή παρεντερικά. Ημιστερεά γαλακτώματα δίνουν την μορφή τους σε σκευάσματα που χορηγούνται τοπικά. Φάρμακα που λαμβάνονται από το στόμα και έχουν μη ευχάριστη οσμή και γεύση όπως το μωρουνόλαδο, προσλαμβάνονται πολύ ευκολότερα με την ενσωμάτωσή τους σε υγρού γαλάκτωμα. Για τη θρέψη εξαντλημένων ασθενών, χορηγούνται παρεντερικά γαλακτώματα που περιέχουν συστατικά από τις κατηγορίες των λιπών, των ελαίων, των υδατανθράκων, των βιταμινών καθώς και άλλα θρεπτικά συστατικά. Αλλά και στην τοπική χρήση ελαιωδών προϊόντων, η μορφή γαλακτώματος διευκολύνει το άπλωμα στο δέρμα και αυξάνεται η διεισδυτικότητα και η αποτελεσματικότητά τους (Αυγουστάκης, 2001).

Τα γαλακτώματα αποτελούν μέρος ή και σύνολο του περιεχομένου, πολλών τροφίμων φυσικών ή επεξεργασμένων αλλά και αρκετά τρόφιμα γαλακτωματοποιήθηκαν σε κάποια φάση της επεξεργασίας τους.

Ένα παράδειγμα φυσικού γαλακτώματος αποτελεί το γάλα ενώ πολλά επεξεργασμένα προϊόντα περιέχουν γαλακτώματα όπως οι κρέμες, οι μαγιονέζες, οι μαργαρίνες, το βούτυρο, τα παγωτά, και οι παιδικές τροφές. Πολλά προϊόντα σε σκόνη, σε κάποια φάση της επεξεργασίας τους υπέστησαν γαλακτωματοποίηση πριν πάρουν την τελική τους μορφή, όπως σάλτσες ή πολλά επιδόρπια (Σανιδά, 2014). Πολλά λειτουργικά συστατικά των τροφίμων όπως χρώμα, γεύση, συντηρητικά, βιταμίνες και συμπληρώματα διατροφής, φέρονται σε αυτά, ως συστήματα γαλακτωμάτων. Οι

διαφορές στα συστατικά και στον τρόπο επεξεργασίας τους προκειμένου να παραχθούν τα γαλακτώματα, δίνει μεγάλη ποικιλομορφία στα φυσικοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων. Όμως η ύπαρξη σειράς κοινών χαρακτηριστικών οδηγεί στην μελέτη τους, μέσω μιας ενιαίας επιστήμης, της επιστήμης των γαλακτωμάτων που βασίζεται στους νόμους των φυσικών επιστημών και της μηχανικής. Έτσι η επιστήμη των γαλακτωμάτων συνδυάζεται με τις επιστήμες των κolloειδών, της διεπιφανειακής χημείας, των πολυμερών και της μηχανικής των ρευστών (McClements, 2016).



Εικόνα 1. Τα κolloειδή είναι διεπιστημονική περιοχή

Επιλέγοντας τα κατάλληλα συστατικά, από τις κατηγορίες των λιπιδίων, πρωτεϊνών, υδατανθράκων, μεταλλικών στοιχείων, σακχάρων και μικρού ή μεγάλου μοριακού βάρους γαλακτωματοποιητές, πυκνωτικά μέσα, νερό και με την κατάλληλη επεξεργασία, καταλήγουμε σε ένα τελικό προϊόν που έχει βάση γαλάκτωμα και έχει χαρακτηριστικές φυσικοχημικές του ιδιότητες (Σανιδά, 2014).

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΣ

Είναι ετερογενή συστήματα που αποτελούνται από δύο υγρές φάσεις, που έχουν χαμηλή διαλυτότητα της μιας στην άλλη. Συνηθέστερα η μία φάση του γαλακτώματος είναι οργανικής φύσης (ελαιώδης φάση) και η άλλη είναι το νερό ή ένα υδατικό διάλυμα (υδατική φάση) και η μία βρίσκεται σε διασπορά μέσα στην άλλη, με τη μορφή σταγονιδίων μεγέθους 0,1-100μm.

Είναι πλέον αυξημένο το ενδιαφέρον για γαλακτώματα με πολύ μικρές διαμέτρους σταγονιδίων ($d < 100\text{nm}$) πράγμα που τους έχει εξελιγμένες φυσικοχημικές ιδιότητες. Εκείνη η φάση που είναι σε διασπορά μέσα στην άλλη και σχηματίζει σταγονίδια λέγεται ασυνεχής ή εσωτερική φάση ενώ η άλλη φάση, που αποτελεί το περιβάλλον υγρό, λέγεται εξωτερική ή συνεχής φάση. Αυτό το σύστημα διασποράς του ενός υγρού στο άλλο, έχει ιδιαίτερη σταθερότητα που αφορά κάποια συγκεκριμένη χρήση σε κάθε περίπτωση ενώ η διάρκεια ζωής της ποικίλλει από μερικά λεπτά έως κάποια χρόνια (Dalgeish, 2006). Ωστόσο, μια απλή ανάμιξη δύο μη αναμιξιμων, καθαρών υγρών, δεν μπορεί να οδηγήσει σε ένα γαλάκτωμα, καθώς απαιτείται σταθερότητα στη διασπορά ενός υγρού σε ένα άλλο. Είναι αναγκαία και μια τρίτη ουσία ώστε το σύστημα να σταθεροποιηθεί και αυτή ουσία ονομάζεται παράγοντας γαλακτωματοποίησης ή γαλακτωματοποιητής (emulsifier). Ο γαλακτωματοποιητής δεν είναι απαραίτητο να είναι μόνο μια ουσία. Μάλιστα δε, οι πιο αποτελεσματικότεροι γαλακτωματοποιητές είναι συνήθως μίγματα δύο ή περισσότερων ουσιών (Dalgeish, 2006). Έτσι εντοπίζονται τρεις περιοχές διαφορετικών ιδιοτήτων, οι οποίες είναι καθοριστικές για τη συμπεριφορά των γαλακτωμάτων: η διεσπαρμένη φάση των σταγονιδίων, η συνεχής φάση του περιβάλλοντος υγρού και η διεπιφάνεια μεταξύ των δυο παραπάνω φάσεων. Τα μόρια που εμπεριέχονται στο γαλάκτωμα κατανέμονται σε αυτές τις τρεις περιοχές με βάση τη συγκέντρωση και την πολικότητά τους. Η λιπαρή και η υδατική φάση περιέχουν αντίστοιχα τα μη πολικά και πολικά μόρια, ενώ η διεπιφάνεια περιέχει τα αμφιφιλικά μόρια. Στη λιπαρή φάση μπορεί να παρουσιάζεται κάποια κρυσταλλικότητα και να σημειώνονται χημικές μεταβολές όπως οξειδώσεις, ενώ η υδατική φάση είναι η περιοχή διαφόρων υδατοδιαλυτών συστατικών όπως είναι άλατα και ιόντα. Η διεπιφάνεια περιέχει πρωτεΐνες και μικρού μοριακού βάρους γαλακτωματοποιητές. Η σταθεροποίηση ή η αποσταθεροποίηση του γαλακτώματος επηρεάζεται από όλα αυτά τα χαρακτηριστικά. Κατανοώντας τη λειτουργία κάθε φάσης χωριστά αλλά και ως μέρος ενός συνόλου όλων των φάσεων, μπορεί να κατανοηθούν οι ιδιότητες και η λειτουργία του γαλακτώματος (Dalgeish, 2006).

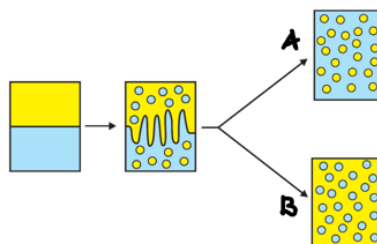
Πίνακας 1. Σύνθεση γαλακτώματος

A. Λιπαρή φάση	B. Υδατική φάση	Γ. Λοιπά συστατικά
1. Λιπαρά συστατικά (βάση προϊόντος)	1. Νερό	1. Δραστικά συστατικά
2. Γαλακτωματοποιητής	2. Υγροσκοπικές ουσίες	2. Αρωματικό έλαιο
3. Λιποδιαλυτά συστατικά	3. Υδατοδιαλυτά συστατικά	3. Χρωστικές ουσίες
4. Συντηρητικά	4. Συντηρητικά	
5. Αντιοξειδωτικά	5. Ιξωδοαυξητικές ουσίες	
6. Ιξωδορυθμιστικές ουσίες	6. Ρυθμιστές pH	

Σε κάποια γαλακτώματα η διασπαρμένη φάση βρίσκεται σε σχετικά μικρή αναλογία, π.χ. 20% v/v (γαλακτώματα μεγάλης ρευστότητας), και άλλα όπου η διασπαρμένη φάση βρίσκεται σε σχετικά μεγάλη αναλογία, π.χ. 60% v/v (πολύ σφικτά γαλακτώματα). Γενικά η αύξηση της αναλογίας της διασπαρμένης φάσης, οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους του γαλακτώματος (Αυγουστάκης, 2001).

1.3 ΤΥΠΟΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

Τα γαλακτώματα ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο που κατανέμονται τα σταγονίδια στις περιοχές της ελαιώδους και της υδατικής φάσης. Όταν τα σταγονίδια ελαίου διασπείρονται σε νερό έχουμε γαλακτώματα τύπου ελαίου σε νερό (o/w) με παραδείγματα όπως το γάλα, η κρέμα γάλακτος, διάφορες σάλτσες, η μαγιονέζα και διάφορες σούπες. Όταν τα σταγονίδια ύδατος διασπείρονται σε λάδι, έχουμε γαλακτώμα τύπου νερού σε έλαιο όπως για παράδειγμα οι μαργαρίνες και τα βούτυρα (w/o) (Αυγουστάκης, 2001).

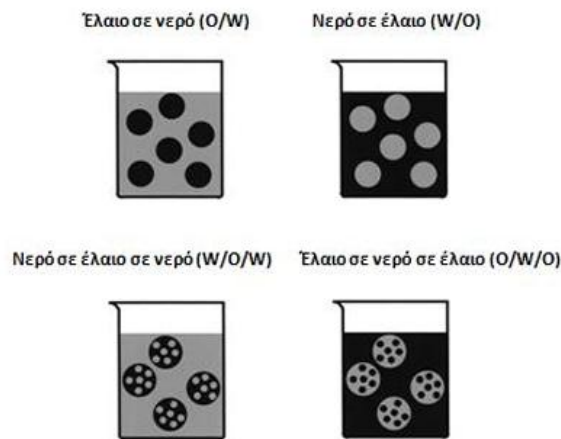


Εικόνα 2. (A) Γαλακτώμα τύπου έλαιο σε νερό και (B) Γαλακτώμα τύπου νερό σε έλαιο.

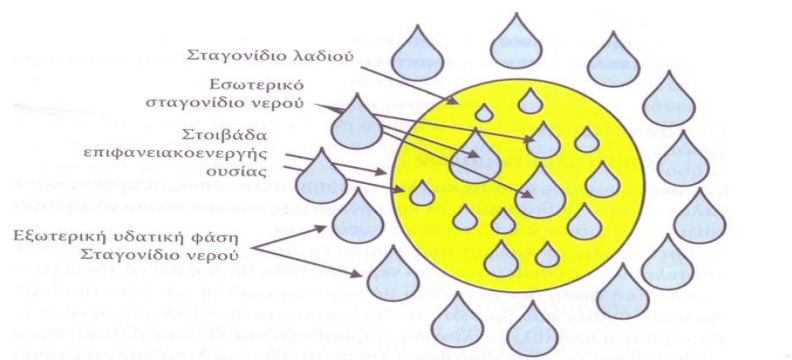
Μια μορφή περιεκτικότητας των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα αποτελεί ο όρος «κλάσμα όγκου φάσης διασποράς».

Μια άλλη κατηγορία γαλακτωμάτων είναι και ο τύπος ελαίου σε έλαιο (o/o). Σε αυτή την κατηγορία ανήκει, για παράδειγμα, ένα γαλάκτωμα αποτελούμενο από ένα έλαιο πολικό όπως η προπυλενογλυκόλη που έχει διασπαρεί σε ένα έλαιο μη πολικό όπως το παραφινέλαιο ή αντιστρόφως (Tadros, 2013).

Είναι δυνατόν να παρασκευαστούν σύνθετα ή πολλαπλά γαλακτώματα που περιέχουν σταγονίδια ελαίου, που με τη σειρά τους και αυτά, βρίσκονται μέσα σε μεγαλύτερα σταγονίδια νερού με τα τελευταία να έχουν διασπαρεί στη λιπαρή φάση (o/w/o) ή και αντιστρόφως (w/o/w). Τέτοιου τύπου γαλακτώματα είναι κατάλληλα για να προστατεύουν ευαίσθητα συστατικά που μπορεί να απελευθερώνονται ελεγχόμενα, ή για να παρασκευαστούν τρόφιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά (Tadros, 2013).



Εικόνα 3. Διαφορετικοί τύποι γαλακτωμάτων.



Εικόνα 4. Γαλάκτωμα νερό σε λάδι, σε νερό (w/o/w)

Η σημασία της υδατικής φάσης είναι καθοριστική για τα γαλακτώματα, γιατί επιδρά στις φυσικοχημικές αλλά και στις οργανοληπτικές τους ιδιότητες. Οι ιδιότητες του μορίου του νερού είναι καθοριστικές για τη διαλυτότητα, τη διαμόρφωση και το πως αλληλεπιδρούν τα υπόλοιπα συστατικά της υδατικής φάσης (McClements, 2005). Η υδατική φάση, είτε ως συνεχής φάση (στην περίπτωση των ο/w γαλακτωμάτων), ή ως διεσπαρμένη φάση (στην περίπτωση των w/o γαλακτωμάτων), έχει το ρόλο κυρίως του διαλύτη για τα διαλυτά στο νερό, συστατικά όπως τα άλατα, γαλακτωματοποιητές, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, κτλ. Η μοριακή του δομή, προσδίδει στο νερό μεγάλη διεπιφανειακή τάση, και η δυνατότητά του για σχηματισμό δεσμών υδρογόνου, του προσδίδει έντονο ιοντικό προσανατολισμό. Έτσι εμποδίζεται η διάσπαση της διεσπαρμένης φάσης σε μικρότερα σταγονίδια. Επομένως, γίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν γαλακτωματοποιητές, ώστε να γίνει μείωση στην ένταση των διεπιφανειακών δυνάμεων. Ο σχηματισμός και τα φυσικά χαρακτηριστικά του γαλακτώματος επηρεάζονται από το pH, την ιοντική ισχύ και την περιεκτικότητα του γαλακτωματοποιητή στην υδατική φάση καθώς μεταβάλλουν το μέγεθος των σταγονιδίων και την μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Η λιπαρή φάση αποτελείται από λίπη και έλαια, ενώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των λιπιδίων και διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες, αλλά καθόλου ή πολύ λίγο στο νερό. Η φυσική κατάσταση των λιπών σε θερμοκρασία δωματίου, είναι γενικά στερεή, ενώ των ελαίων υγρή. Η μορφή της λιπαρής φάσης είναι συνήθως τα τριγλυκερίδια με προέλευση ζωική ή φυτική. Μικρές ποσότητες από διγλυκερίδια και μονογλυκερίδια, πολικά λιπίδια και ελεύθερα λιπαρά οξέα που περιέχονται στο έλαιο, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως γαλακτωματοποιητές τροφίμων γιατί έχουν επιφανειακή δραστηριότητα και διαλύονται στο νερό. Τα λίπη εκτός από την ουσιώδη θρεπτικότητά τους, δίνουν, σε προϊόντα όπως κρέμες, βούτυρο και τυρί, μια χαρακτηριστική αίσθηση στο στόμα. Ταυτόχρονα, λιπόφιλοι γαλακτωματοποιητές, λιποδιαλυτά θρεπτικά συστατικά και αρωματικές ενώσεις διαλύονται στη λιπαρή φάση (McClements, 2005). Με βάση τις ιδιότητες της εξωτερικής φάσης, τα γαλακτώματα μπορούν να υποβληθούν σε δοκιμασίες, διαπιστωτικές για τον τύπο τους (ο/w) ή (w/o).

1. Δοκιμασία αραίωσης: Αν προστεθεί νερό σε γαλακτώματα (ο/w), ακολουθεί ενσωμάτωσή του, ενώ αυτά παραμένουν σταθερά. Αντίθετα, αν προστεθεί νερό στην περίπτωση των (w/o) γαλακτωμάτων η ελαιώδης φάση διαχωρίζεται.

2. Δοκιμασία αγωγιμότητας: Τα (o/w) γαλακτώματα έχουν μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σύγκριση με τα (w/o) γιατί στην εξωτερική υδατική φάση υπάρχουν ιόντα θετικά και αρνητικά. Τα γαλακτώματα (w/o) έχουν μηδενική ή ελάχιστη τιμή αγωγιμότητας, αφού δεν υπάρχουν φορτία στην εξωτερική λιπαρή φάση.

3. Δοκιμασία χρωματισμού: Αν προστεθεί υδατοδιαλυτή χρωστική σε o/w γαλάκτωμα, αυτό χρωματίζεται ομοιόμορφα, ενώ στην περίπτωση των γαλακτωμάτων (w/o) γαλάκτωμα, σχηματίζονται συσσωματώματα.

Ανάλογα με τη διάμετρο των διασπαρμένων σταγονιδίων, τα γαλακτώματα ανήκουν στους εξής διαφορετικούς τύπους:

Πίνακας 2: Σύγκριση μεγέθους σταθερότητας και φυσικοχημικών ιδιοτήτων διαφορετικών τύπων γαλακτωμάτων.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	Μακρογαλακτώματα	Νανογαλακτώματα	Μικρογαλακτώματα	Γαλακτώματα Pickering
Μέγεθος(διάμετρος)	100 nm-100 μm	10-100 nm	2-100 nm	0,1-100 μm
Σχήμα	Σφαιρικό	Σφαιρικό	Σφαιρικό, φυλλοειδή ραβδοειδή μικκύλια ή τύπου σπόγγος.	Σφαιρικό
Σταθερότητα	Θερμοδυναμικά ασταθή, ασθενώς κινητικά σταθερά.	Θερμοδυναμικά ασταθή, κινητικά σταθερά.	Θερμοδυναμικά σταθερά.	Υψηλώς σταθερά λόγω της μη αναστρέψιμης απορρόφησης σωματιδίων.
Δείκτης πολυδιασποράς	Συχνά υψηλός (0,2-0,5)	Τυπικά χαμηλός (0,1-0,3)	Τυπικά χαμηλός (0,1-0,3)	Τυπικά χαμηλός (0,1-0,3)
Μηχανισμός σταθεροποίησης	Επιφανειοδραστικά	Επιφανειοδραστικά	Επιφανειοδραστικά και συν-επιφανειοδραστικά.	Στερεά σωματίδια (π.χ σιλκόνες, πρωτεΐνες, κυτταρίνη, βακτήρια).
Διαφάνεια	Αδιαφανή	Ημιδιαφανή	Διαφανή	Αδιαφανή

Τα μακρογαλακτώματα ή coarse emulsions είναι θερμοδυναμικά ασταθή αλλά μπορούν να σταθεροποιηθούν κινητικά με χρήση επιφανειοδραστικών ουσιών, πολυμερών ή στερεών σωματιδίων, όπως γίνεται και στα γαλακτώματα Pickering. Απαιτούν προσφορά ενέργειας, όπως μέσω ανάδευσης.

Η θερμοκρασία, το pH, η ιονική ισχύς επηρεάζουν την σταθερότητά τους, η οποία ελέγχεται από απωστικές δυνάμεις που εμποδίζουν την συγκόλληση των σταγονιδίων με το χρόνο. Τα νανογαλακτώματα ή submicron ή mini emulsions είναι θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα που αποτελούνται από μια ελαιώδη φάση, νερό και επιφανειοδραστική ουσία. Τα νανογαλακτώματα σκεδάζουν ελάχιστα το ορατό φως έτσι εμφανίζονται διαφανή ή ελάχιστα θολά. Απαιτούν μια σχετικά μικρή ποσότητα

επιφανειοδραστικού 3-8% w/w. Παρέχουν δυναμικά πλεονεκτήματα για εξειδικευμένες εφαρμογές εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους των σωματιδίων, όπως μακροπρόθεσμη σταθερότητα, μεγάλη οπτική καθαρότητα και μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα.

Τα μικρογαλακτώματα είναι κολλοειδή συστήματα διασποράς νερού και ελαίου που σταθεροποιούνται από κάποιο επιφανειοδραστικό, συνήθως σε συνδυασμό με ένα συν-επιφανειοδραστικό. Παρουσιάζουν ελκυστικά χαρακτηριστικά όπως ο αυθόρμητος σχηματισμός τους που σημαίνει ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, μικρό μέγεθος σωματιδίων και φυσικοχημική σταθερότητα κάτω από ειδικές συνθήκες (π.χ σύνθεσης και θερμοκρασίας). Αποτελούνται από μια ελαιώδη φάση, νερό και επιφανειοδραστικό συχνά περισσότερα του ενός και περισσότερους του ενός διαλύτες.

Η προετοιμασία τους είναι ευκολότερη από αυτή των νανογαλακτωμάτων (συχνά με απλή ανάμιξη) αλλά απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες επιφανειοδραστικών, περίπου 10-30% w/w. Στα γαλακτώματα Pickering, τα στερεά σωματίδια είναι ισχυρά αγκυροβολημένα στην διεπιφάνεια ελαίου-νερού εξαιτίας της μερικής διαβροχής των επιφανειών τους από νερό και έλαιο. Διατηρούν τα ουσιώδη χαρακτηριστικά των παραδοσιακών γαλακτωμάτων αλλά είναι πιο ανθεκτικά στις διαδικασίες αποσταθεροποίησης όπως οι coalescence, flocculation, Ostwald ripening και κανένα επιφανειοδραστικό δεν είναι απαραίτητο, οπότε έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε ποικιλία εφαρμογών (Karolos et al., 2025).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

2.1.ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ

2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ομογενοποίηση καλείται η διαδικασία κατά την οποία δυο διακριτά, μη αναμίξιμα υγρά μετατρέπονται σε γαλάκτωμα και αποτελείται από δυο στάδια συνήθως: Αρχικά (πρωτογενής ομογενοποίηση) τα υγρά αναμιγνύονται και αναδεύονται οπότε σχηματίζεται ένα προ-γαλάκτωμα (coarse emulsion) με το μέγεθος των σταγονιδίων, να ξεπερνά το 1 mm. Στη συνέχεια (δευτερογενής ομογενοποίηση) στοχεύεται κυρίως η μείωση της διαμέτρου των σταγονιδίων (0,5 - 30 μm) και το προ-γαλάκτωμα μετατρέπεται σε σταθεροποιημένο γαλάκτωμα (Σανιδά, 2014).

Σε επίπεδο μικρού εργαστηρίου, για παράδειγμα σε ένα φαρμακείο, ακολουθούνται δύο μέθοδοι παρασκευής που είναι κλασικές για γαλακτώματα σε μικρές ποσότητες και γίνεται χρήση της ακακίας και της τραγάκανθας ως γαλακτωματοποιητή. Η παρασκευή μικρών ποσοτήτων γαλακτωμάτων γίνεται σε γουδί από πορσελάνη, με ηλεκτροκίνητο (μίξερ) ή χειροκίνητο αναδευτήρα:

α) Μέθοδος με υγρό κόμμι. Αναμιγνύονται ακακία με διπλάσια ποσότητα νερού σε γουδί, οπότε σχηματίζεται κολλοειδές στο οποίο γίνεται σταδιακή προσθήκη μικροποσοτήτων της ελαιώδους φάσης, έτσι σχηματίζεται ένα αρχικό γαλάκτωμα στο οποίο γίνεται προσθήκη του υπόλοιπου νερού μέχρι να ομογενοποιηθεί.

β) Μέθοδος με ξηρό κόμμι. Αναμιγνύονται ακακία με την ελαιώδη φάση και ακολουθεί προσθήκης διπλάσιας ποσότητας νερού στο γουδί. Έτσι σχηματίζεται ένα αρχικό γαλάκτωμα, στο οποίο γίνεται προσθήκη του υπόλοιπου νερού (Αυγουστάκης, 2001).

Στη βιομηχανία τροφίμων, για την παρασκευή ενός γαλακτώματος μπορεί να απαιτηθεί σημαντική εισροή ενέργειας εξαιτίας των μεγάλης επιφάνειας περιοχών του και των πολλών σταγονιδίων του. Οι μέθοδοι παρασκευής γαλακτωμάτων γενικά ανήκουν σε δυο κατηγορίες ανάλογα με τις ενεργειακές τους απαιτήσεις, προσεγγίσεις υψηλής ή χαμηλής ενέργειας.

Πίνακας 3: Μέθοδοι χαμηλής και υψηλής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή διαφορετικών τύπων γαλακτωμάτων.

Μέθοδος	Ενέργεια	Μακρογαλακτώματα	Νανογαλακτώματα	Μικρογαλακτώματα	Γαλακτώματα Pickering
Απλή ανάδευση /Ανακίνηση	Χαμηλή	√	X	X	√ ¹
Μαγνητική ανάδευση	Χαμηλή	√	X	X	√
Ομογενοποίηση υψηλής ταχύτητας	Υψηλή	√	√	X	√
Ομογενοποίηση υψηλής πίεσης	Υψηλή	√	√	X	√
Μικροϋγροποίηση	Υψηλή	X	√	X	√
Επεξεργασία με υπέρηχους	Υψηλή	X	√	X	√
Θερμοκρασιακή αναστροφή φάσης	Χαμηλή	X	√	√ ²	X
Αυθόρμητη γαλακτωματοποίηση	Χαμηλή	X	√	√ ²	X
Σημείο αναστροφής γαλακτώματος	Χαμηλή	X	√	X	X
Γαλακτωματοποίηση μεμβράνης	Χαμηλή	X	√	X	√

¹ Μόνο κατά την προκαταρκτική ανάμιξη πριν την εφαρμογή μεθόδων υψηλής ενέργειας. ² Τα μικρογαλακτώματα μπορούν να σχηματιστούν μόνο σε ορισμένο φάσμα συγκεντρώσεων ελαίου, νερού ή επιφανειοδραστικού (Rao et al., 2011)

A) Οι μέθοδοι υψηλής ενέργειας βασίζονται στην εφαρμογή υψηλών διατμητικών δυνάμεων που διασπείρουν την ασυνεχή φάση σε μικροσκοπικά σταγονίδια. Αυτές είναι:

- 1) High ή Ultra-High-Pressure (Υψηλής ή Υπερ-Υψηλής πίεσης) ομογενοποίηση (HPH or UHPH) που δημιουργεί μικρά σταγονίδια εφαρμόζοντας δυνάμεις στο γαλάκτωμα μέσω βαλβίδας υψηλής πίεσης οπότε προκύπτουν τα σωματίδια της φάσης διασποράς.
- 2) Microfluidization (Μικροϋγροποίηση) που είναι μια τεχνική γαλακτωματοποίησης όπου σε ένα προ-σχηματισμένο γαλάκτωμα εφαρμόζεται υψηλή πίεση και δύναμη μέσω μικροκαναλιών που έχουν σχεδιαστεί με ακρίβεια. Αυτή η διαδικασία χωρίζει το γαλάκτωμα σε πολλαπλά μικρορεύματα που συγκρούονται μεταξύ τους, παράγοντας έντονες διατμητικές δυνάμεις με αντίκτυπο.
- 3) Ultrasonication (επεξεργασία με υπέρηχους) κατά την οποία ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας παράγουν μικροσκοπικές φουσκάλες μέσα στο υγρό, που καταρρέουν σύντομα και δημιουργούνται έντονες τοπικές αναταράξεις και διατμητικές

δυνάμεις. Αυτές οι αναταράξεις σπάνε αποτελεσματικά τα σταγονίδια καταλήγοντας σε μικρότερα και πιο ομογενή μεγέθη σωματιδίων.

B) Οι μέθοδοι χαμηλής ενέργειας απαιτούν ελάχιστη ενέργεια καθώς εκμεταλλεύονται την εσωτερική χημική ενέργεια του συστήματος (ή το χημικό δυναμικό των συστατικών). Αυτές είναι:

1) Η μέθοδος θερμοκρασιακής αναστροφής φάσης (Phase Inversion Temperature -PIT method) που εκμεταλλεύεται την εξαρτώμενη από την θερμοκρασία συμπεριφορά συγκεκριμένων γαλακτωματοποιητών, των οποίων οι ιδιότητες μεταβάλλονται από υδροφιλικές σε λιποφιλικές. Με προσεκτικό έλεγχο της θερμοκρασίας, αυτή η τεχνική οδηγεί σε αναστροφή φάσης, καταλήγοντας στο σχηματισμό νανογαλακτωμάτων με σταγονίδια υψηλής σταθερότητας και ομοιογενούς μεγέθους.

2) Η μέθοδος αναστροφής φάσης μέσω σύστασης (Phase Inversion Composition, PIC) κατά την οποία αλλάζει η σύσταση ενός συστήματος με εισαγωγή ουσιών όπως ηλεκτρολύτες ή αλκοόλες. Αυτά τα πρόσθετα τροποποιούν τις ιδιότητες του γαλακτωματοποιητή, οπότε πυροδοτείται μια αναστροφή φάσης με αποτέλεσμα το σχηματισμό νανογαλακτωμάτων.

3) Αυθόρμητη γαλακτωματοποίηση, γνωστή ως «Ouzo effect», είναι μια διαδικασία κατά την οποία ταχείες αλλαγές στην διεπιφανειακή τάση καταλήγουν σε ένα αυθόρμητο σχηματισμό μικρών σταγονιδίων κατά την ανάμιξη της διαλυτής φάσης με μια μη διαλυτή φάση.

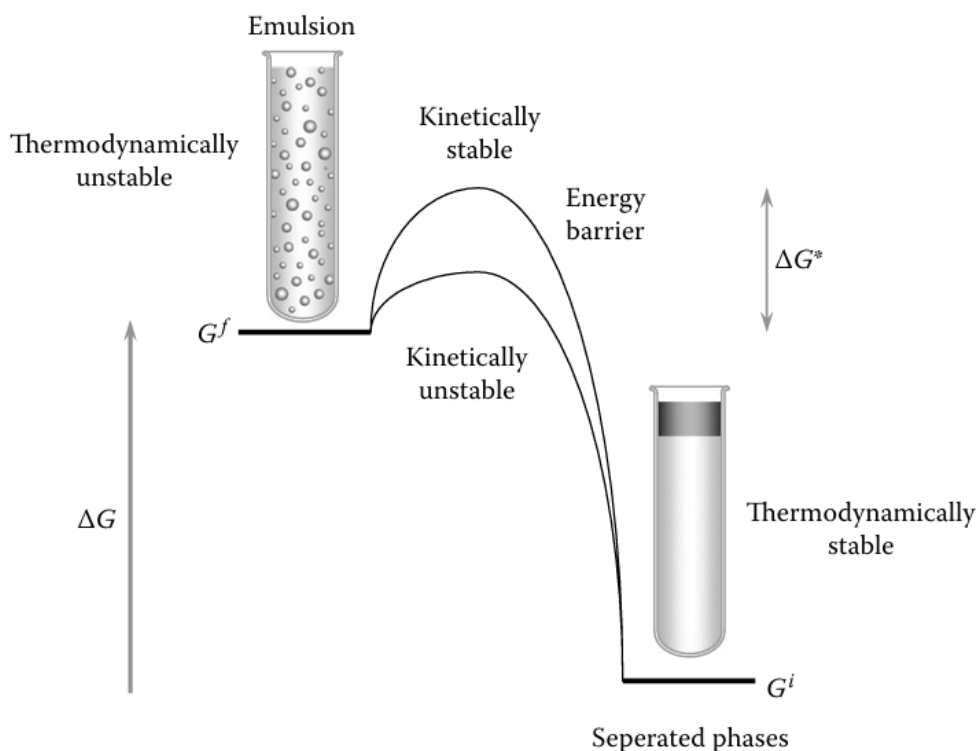
4) Τεχνική του σημείου αναστροφής γαλακτώματος (Emulsion Inversion Point - EIP), η οποία αφορά τη δημιουργία ενός (w/o) γαλακτώματος με μεγάλη αναλογία ελαίου προς νερό. Καθώς προστίθεται σταδιακά νερό, φτάνει σε ένα κρίσιμο σημείο όπου το περιεχόμενο νερό ξεπερνά το περιεχόμενο έλαιο, οδηγώντας σε μια αναστροφή φάσης από (w/o) γαλάκτωμα σε (o/w) γαλάκτωμα.

5) Γαλακτωματοποίηση μεμβράνης, είναι μια ενεργειακά υποβοηθούμενη τεχνική κατά την οποία η διεσπαρμένη φάση εφαρμόζεται μέσω των πόρων ειδικής μεμβράνης, οπότε παράγονται σταγονίδια στην επιφάνειά της. Αυτά τα σταγονίδια στη συνέχεια αποκόβονται και παρασύρονται από τη ροή της συνεχούς φάσης ή μέσω της περιστροφής της ίδιας της μεμβράνης (Karolos et al., 2025).

Στη βιομηχανία τροφίμων, η διαδικασία αυτή, γίνεται με χρήση μεθόδων υψηλής ενέργειας με χρήση συσκευών που ασκούν δυνάμεις ικανές να αποδιοργανώσουν τις δυο φάσεις και να σχηματιστούν τα σταγονίδια, όπως high-speed blenders, high pressure valve homogenizers, και colloid mills. Μπορεί να προκύψει ένα

γαλακτώμα με ομογενοποίηση λαδιού και νερού, αλλά οι δυο φάσεις συνήθως αποχωρίζονται σύντομα προς ένα σύστημα με τη φάση λαδιού (χαμηλής πυκνότητας) πάνω από τη φάση νερού (υψηλής πυκνότητας). Αυτό οφείλεται στην τάση των σταγονιδίων να ενσωματωθούν με τα γειτονικά τους όταν συγκρουστούν μαζί τους και οδηγεί σε πλήρη διαχωρισμό των φάσεων, τελικά. Η επαφή μεταξύ των μορίων νερού και λαδιού δεν ευνοείται θερμοδυναμικά και τα γαλακτώματα θεωρούνται θερμοδυναμικώς ασταθή συστήματα. Η διαφορά θερμοδυναμικής και κινητικής σταθερότητας ενός συστήματος είναι κρίσιμο ζήτημα για τις ιδιότητες των γαλακτωμάτων στα τρόφιμα.

Είναι δυνατόν να σχηματιστούν κινητικώς σταθερά γαλακτώματα συγκεκριμένης διάρκειας (για λίγες ημέρες, εβδομάδες, μήνες ή χρόνια) με την χρήση σταθεροποιητών. Ένας σταθεροποιητής είναι το συστατικό εκείνο που μπορεί να βελτιώσει την κινητική σταθερότητα ενός γαλακτώματος και ανάλογα με τον τρόπο δράσης του μπορεί να είναι ένας γαλακτωματοποιητής, ένας τροποποιητής υφής, ένας σταθμιστικός παράγοντας ή ένας αναστολέας ωρίμανσης (McClements, 2016).



Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση της διαφοράς μεταξύ της θερμοδυναμικής και της κινητικής σταθερότητας.

Διακρίνονται τα επίπεδα ελεύθερης ενέργειας: G_{low} , όταν το σύστημα είναι θερμοδυναμικά σταθερό και οι δυο φάσεις έχουν διαχωριστεί και G_{high} , όταν το σύστημα είναι θερμοδυναμικά ασταθές και έχει τη μορφή γαλακτώματος. Ένα σύστημα μπορεί να παραμείνει θερμοδυναμικά ασταθές για αρκετό χρονικό διάστημα αν υπάρχει αρκετά μεγάλο φράγμα ελεύθερης ενέργειας ΔG^* , ώστε να παρεμποδίζεται να μεταβεί στην κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας. Όσο το ΔG^* αυξάνεται, τόσο η ταχύτητα μετάβασης από την θερμοδυναμικά ασταθή κατάσταση στην θερμοδυναμικά σταθερή μειώνεται, οπότε το σύστημα θεωρείται ότι βρίσκεται σε κινητικά σταθερή κατάσταση (McClements, 2005).

2.1.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ



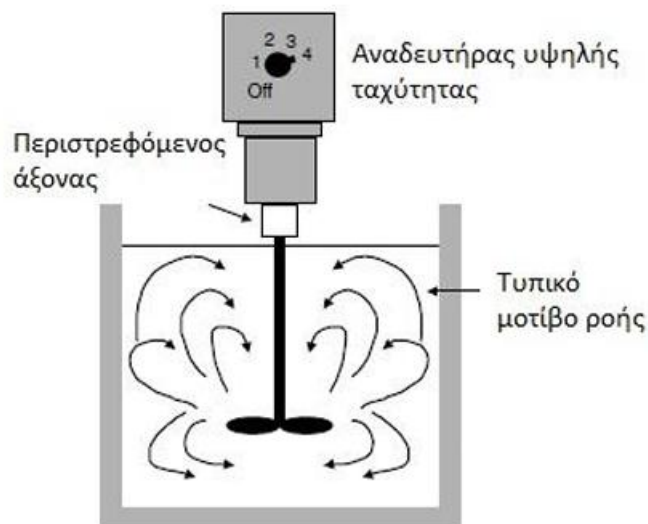
Εικόνα 6: Συσκευή ανάμιξης γαλακτωμάτων <https://www.mixing-tank.com/el/blog>

Προκειμένου να παραχθούν τρόφιμα τύπου γαλακτωμάτων, υπάρχουν διάφοροι τύποι ομογενοποιητών, προς χρήση. Παράγοντες όπως το πόσο θα κοστίσει η αγορά και η λειτουργία της συσκευής, πως θα χρησιμοποιηθεί η συσκευή (σε κλίμακα εργαστηρίου ή βιομηχανίας), ο όγκος του υλικού που πρέπει να ομογενοποιηθεί, οι φυσικοχημικές ιδιότητες των συστατικών πρώτων υλών καθώς και οι ζητούμενες φυσικοχημικές ιδιότητες για το τελικό προϊόν, καθορίζουν το ποιος ομογενοποιητής θα επιλεγεί κάθε φορά. Οι πιο συχνά απαντώμενοι ομογενοποιητές είναι οι παρακάτω:

A) Αναδευτήρες υψηλής ταχύτητας (High Speed Blenders)

Οι αναδευτήρες υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην βιομηχανία τροφίμων και ομογενοποιούν άμεσα την λιπαρή και την υδατική φάση. Σε κατάλληλο δοχείο χωρητικότητας λίγων cm^3 ως πολλών m^3 , εισάγονται διαδοχικά το

έλαιο, το νερό και άλλα συστατικά και ακολουθεί ανάδευση από μια κεφαλή ανάμιξης σε υψηλή ταχύτητα περιστροφής (έως και 3600 στροφές ανά λεπτό). Καθώς η λεπίδα περιστρέφεται γρήγορα τα συστατικά κινούνται γρήγορα και αυτό διαρρηγνύει την διεπιφάνεια λιπαρής - υδατικής φάσης, τα δυο μη αναμίξιμα υγρά αναμιγνύονται και τα μεγαλύτερα σταγονίδια διασπώνται σε μικρότερα. Στη βιομηχανία γίνεται χρήση συσκευών που έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν συνεχώς και να επεξεργάζονται ποσότητες από λίγα έως εκατοντάδες λίτρα ανά ώρα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κεφαλών ανάμιξης, με πτερύγια, έλικες ή στροβίλους. Κατά την ανάμειξη μέρος από την μηχανική ενέργεια που εισρέει στο σύστημα μετατρέπεται σε θερμότητα, οπότε είναι απαραίτητος συνεχής έλεγχος της θερμοκρασίας του δοχείου, ιδιαίτερα αν κάποιο συστατικό του γαλακτώματος είναι δεν είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 7. Αναδευτήρας υψηλής ταχύτητας, σχήμα.

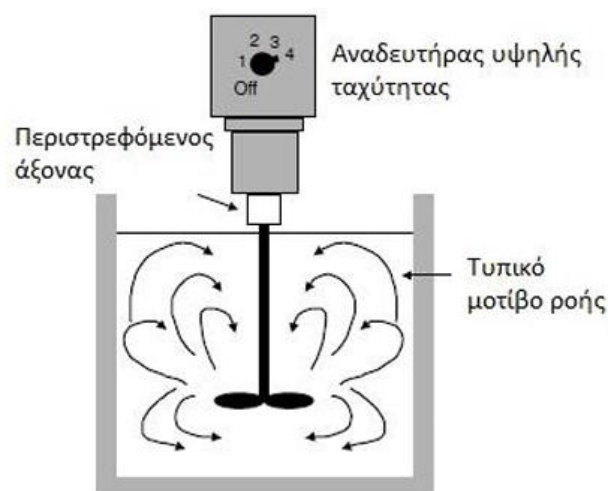
Οι αναδευτήρες υψηλής ταχύτητας είναι κατάλληλοι για την παρασκευή γαλακτωμάτων με χαμηλό ή μέτριο ιξώδες. Όσο μεγαλύτερη η διάρκεια της ομογενοποίησης και η ταχύτητα περιστροφής τόσο το τελικό μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται και μπορεί να φτάσει σε ένα κατώτατο όριο, το οποίο καθορίζει η φύση και η συγκέντρωση των συστατικών. Το μέγεθος των σχηματιζόμενων σταγονιδίων έχει εύρος διαμέτρου από 2 έως 10 μm (McClements, 2005).

B) Ομογενοποιητές υπερήχων (Ultrasonic homogenizers)

Οι υπερήχοι είναι κύματα ήχου υψηλής συχνότητας που όταν διέρχονται από ένα μέσο, μεταφέρουν ενέργεια. Ως αποτέλεσμα αυτού, είναι να δημιουργούνται περιοχές χαμηλής και υψηλής πίεσης. Το πλάτος πίεσης (amplitude) σχετίζεται με τη διακύμανση της πίεσης και είναι ανάλογο με την ποσότητα της ενέργειας που

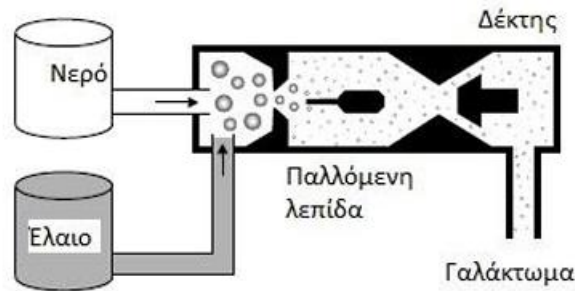
παρέχεται στο σύστημα. Για αρκετά υψηλές διακυμάνσεις της πίεσης (3000 MPa), ένα υγρό μέσο μπορεί να διατμηθεί και να σχηματιστούν μικρές φυσαλίδες, αερίου και ατμού. Αυτό είναι το φαινόμενο της σπηλαίωσης (cavitation), και οι φυσαλίδες μπορούν να καταρρέουν και να δημιουργούνται ξανά συνεχώς, αλλάζοντας τη δομή του μέσου το οποίο βρίσκεται κάτω από την δράση των κυμάτων υπερήχων. Όταν καταρρέει μια φυσαλίδα σπηλαίωσης που βρίσκεται κοντά στην διεπιφάνεια των δυο υγρών που δεν αναμιγνύονται, προκύπτει ένα κύμα που μπορεί να οδηγήσει σε μια αρκετά αποτελεσματική ανάμειξη των 2 υγρών. Όταν η επίδραση υπερήχων, εφαρμοστεί σε ένα σύστημα ελαίου - νερού, παράγονται κύματα που οδηγούν τα δυο υγρά σε ανάμειξη και σχηματίζονται μεγαλύτερα σταγονίδια τα οποία διασπώνται σε πιο μικρά.

Οι ομογενοποιητές υπερήχων, διακρίνονται σε δυο είδη: πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς (piezoelectric) και οι ψεκασμού υγρού (liquid jet generators). Η χρήση του πρώτου, είναι κυρίως εργαστηριακή καθώς είναι κατάλληλος για μικρούς όγκους δειγμάτων. Αποτελείται από ένα κρύσταλλο πιεζοηλεκτρικό, που τον περιβάλλει για λόγους προστασίας, ένα μεταλλικό περίβλημα, με σφραγισμένο άκρο. Όταν ο μετατροπέας προσεγγιστεί από ηλεκτρικό κύμα μεγάλης έντασης, γίνεται ταλάντωση του κρυστάλλου και έτσι παράγεται ένα κύμα υπερήχων. Όταν το κύμα φτάσει στο άκρο του μετατροπέα, μεταδίδεται στο υγρό δείγμα, δημιουργεί μεγάλη πίεση και τα συστατικά του υφίστανται διάτμηση, οι δυο φάσεις αναμιγνύονται και τα σταγονίδια κατατμώνται.



Εικόνα 8. Τυπική συσκευή υπερήχων μετατροπέα, σχήμα.

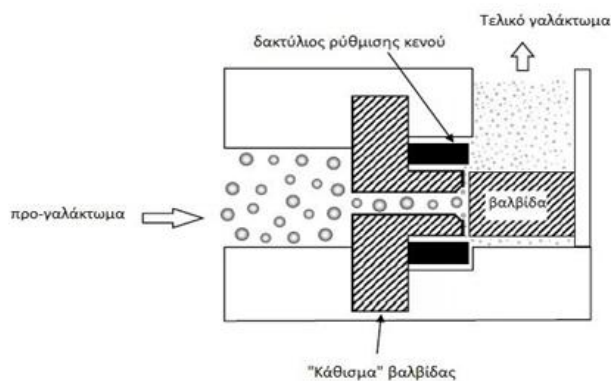
Ο άλλος τύπος χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία για την παρασκευή γαλακτωμάτων. Το νερό και το λάδι διοχετεύονται μέσα από ένα ακροφύσιο και στη συνέχεια γίνεται πρόσκρουση των υλικών με μια κοφτερή λεπίδα, που καθώς είναι γρήγορα παλλόμενη, παράγεται ένα πεδίο υπερήχων που είναι ικανό να προκαλέσει την κατάτμηση των σταγονιδίων.



Εικόνα 9. Τυπική συσκευή υπερήχων με ψεκασμό υγρού, σχήμα.

Η γαλακτωματοποίηση με βοήθεια υπερήχων πλεονεκτεί σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους ομογενοποίησης στα εξής: 1) τα λιποσφαίρια, στα παραγόμενα γαλακτώματα, έχουν μέγεθος νανοκλίμακας με πολύ στενή κατανομή μεγεθών. 2) Έχουν σχετικά μεγάλη σταθερότητα. 3) Η απαιτούμενη ποσότητα γαλακτωματοποιητή για την παραγωγή τους, είναι πολύ μικρή. 4) Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι πολύ μικρότερη ενέργεια συγκριτικά με αυτή των κλασικών μεθόδων. Το ενδιαφέρον γύρω από την γαλακτωματοποίηση με υπερήχους, είναι όλο και μεγαλύτερο και αφορά την εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα για τρόφιμα όπως η κέτσαπ, οι χυμοί φρούτων, η μαγιονέζα, αλλά και για την παραγωγή ομογενοποιημένου γάλακτος και μικροκαψουλών με αρωματικές ουσίες (McClements, 2005).

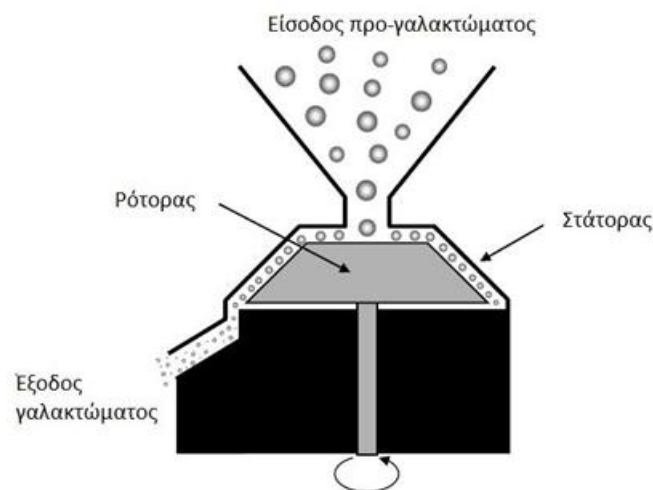
Γ) Ομογενοποιητές υψηλής πίεσης (High pressure valve homogenizers).



Εικόνα 10. Σχηματική διάταξη ομογενοποιητή υψηλής πίεσης.

Οι ομογενοποιητές υψηλής πίεσης προσφέρουν παραπέρα μείωση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων ενός προγαλακτώματος. Το προγαλάκτωμα διοχετεύεται μέσα από ένα στενό ακροφύσιο, υπό υψηλή πίεση, 30 έως 1000 bars, οπότε τα σταγονίδια διασπώνται εξαιτίας των ισχυρών δυνάμεων. Η πίεση προς το γαλάκτωμα αυξάνεται με την μείωση του μεγέθους του ακροφυσίου, και έτσι γίνεται μεγαλύτερη διάρρηξη των σταγονιδίων ώστε τελικά, να παραχθούν σταγονίδια με μικρότερο μέγεθος. Οι ομογενοποιητές υψηλής πίεσης μπορεί να είναι ενός ή δυο σταδίων καθώς μπορεί να διαφοροποιείται η τιμή της εφαρμοζόμενης πίεσης σε κάθε στάδιο. Συχνά γίνεται και ανατροφοδοσία, αν στοχεύεται παραπέρα μείωση των λιποσφαιρίων (McClements, 2005).

Δ) Μύλοι κολλοειδών (Colloid mills).



Εικόνα 11. Σχηματική διάταξη μύλου κολλοειδών

Στους μύλους κολλοειδών γίνεται διοχέτευση ακατέργαστου γαλακτώματος (coarse emulsion) ώστε να ομογενοποιηθεί παραπέρα. Οι μύλοι αποτελούνται από 2 δίσκους, με κενό ανάμεσά τους. Ο ένας δίσκος είναι σταθερός, ενώ ο άλλος είναι περιστρεφόμενος με μεγάλη ταχύτητα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν έντονες διατμητικές δυνάμεις (shear stresses) στο προ-γαλάκτωμα, ικανές να διασπάσουν τα σταγονίδια του. Είναι κατάλληλοι για γαλακτώματα με ενδιάμεσο ή υψηλό ιξώδες και τα παραγόμενα σταγονίδια έχουν μέγεθος 1- 5 μ m (McClements, 2005).

2.2 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΕΣ

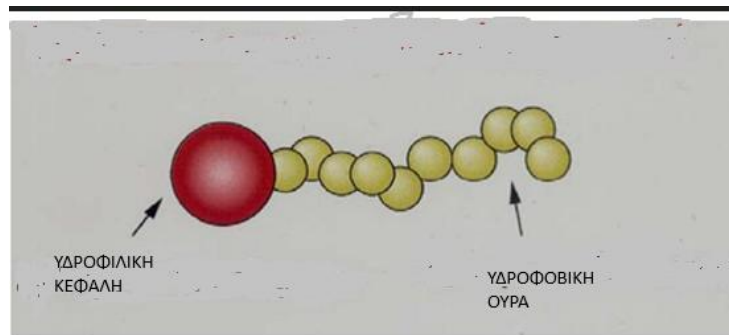
2.2.1 ΔΡΑΣΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΩΝ

Ο γαλακτωματοποιητής είναι μια ουσία που, η παρουσία της οποίας σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε ένα σύστημα, μπορεί να προσροφάται σε κάθε επιφάνεια ή διεπιφάνεια του συστήματος και μπορεί να μεταβάλλει τις επιφανειακές ή διεπιφανειακές ελεύθερες ενέργειες αυτών των επιφανειών (ή των διεπιφανειών). Διεπιφάνεια είναι μια περιοχή-όριο ανάμεσα σε δύο υγρές φάσεις, μη αναμίξιμες. Έτσι ως διεπιφανειακή ελεύθερη ενέργεια ορίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο έργο για τη δημιουργία μιας διεπιφάνειας. Διεπιφανειακή τάση είναι η μετρούμενη ελεύθερη διεπιφανειακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας. Αποτελεί το ελάχιστο απαιτούμενο έργο ώστε να παραχθεί μια μονάδα διεπιφάνειας ή να γίνει επέκταση της διεπιφάνειας κατά μία μονάδα. Η επιφανειακή ή διεπιφανειακή τάση αποτελεί, μέτρο της διαφοράς της φύσης των δύο φάσεων που εφάπτονται στη επιφάνεια ή στην διεπιφάνεια. Μια μεγάλη διαφορά των φύσεών τους, αυξάνει τη διεπιφανειακή (ή επιφανειακή) τάση. Κατά την επέκταση μιας διεπιφάνειας, το ελάχιστο απαιτούμενο έργο (W_{\min}) για την επέκταση αυτή, είναι το γινόμενο της διεπιφανειακής τάσης επί την αύξηση της διεπιφάνειας: όπου γ η διεπιφανειακή τάση και ΔA η αύξηση του εμβαδόν της διεπιφάνειας, A .

$$W_{\min} = \gamma \Delta A$$

Έτσι ο γαλακτωματοποιητής, είναι μια ουσία ευρισκόμενη σε μικρές αναλογίες, αλλά ικανή να προσροφηθεί σε κάποιες ή όλες τις διεπιφάνειες του συστήματος και έτσι να μεταβάλλει την ποσότητα του απαιτούμενου έργου ώστε να επεκταθούν οι διεπιφάνειες αυτές. Συνήθως οι γαλακτωματοποιητές, με τη δράση τους, μειώνουν τη ελεύθερη διεπιφανειακή ενέργεια, αν και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με σκοπό την αύξησή της (Rosen, 2004).

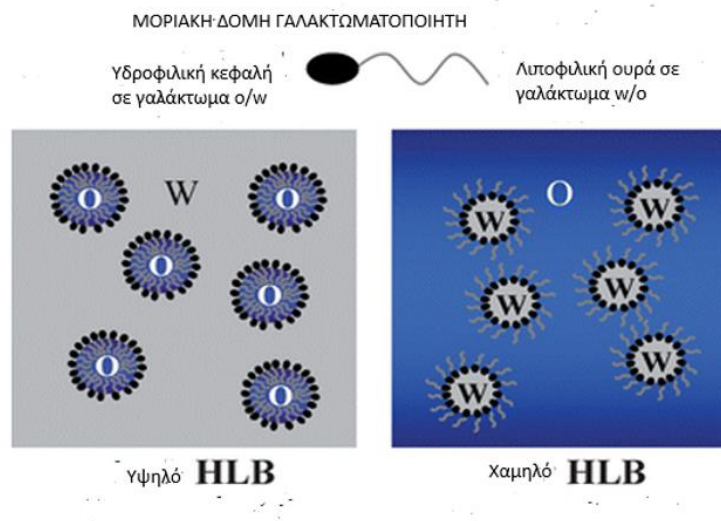
Οι γαλακτωματοποιητές είναι μόρια επιφανειακά ενεργά που απορροφώνται επιφανειακά στα σταγονίδια κατά την ομογενοποίηση, δημιουργώντας ένα προστατευτικό στρώμα που προλαμβάνει το πλησίασμα και την ενοποίηση των σταγονιδίων. Οι περισσότεροι γαλακτωματοποιητές είναι αμφιφιλικά μόρια δηλαδή στο ίδιο μόριο συνυπάρχει μια περιοχή πολική και μια περιοχή άπολη.



Εικόνα 12. Σχηματική απεικόνιση ενός αμφιφιλικού μορίου γαλακτωματοποιητή.

Όταν οι γαλακτωματοποιητές προσροφώνται στην διεπιφάνεια του ελαίου με το νερό, οι πολικές ομάδες προσανατολίζονται προς την υδατική φάση και οι μη πολικές προς την φάση ελαίου. Η υδρόφοβη ομάδα είναι κυρίως μια μεγάλη αλυσίδα υδρογονάνθρακα και σπανιότερα μια αλογονωμένη ή οξυγονωμένη αλυσίδα υδρογονανθράκων ή πολυσιλοξανίων. Η υδρόφιλη ομάδα είναι μια έντονα πολωμένη ή ιοντική ομάδα.

Στη βιομηχανία τροφίμων συνήθως χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές μικρά επιφανειοδραστικά μόρια, φωσφολιπίδια, πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες (McClements, 2016). Η ικανότητα των γαλακτωματοποιητών, ως προς το σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων, ποικίλει ευρέως και καθορίζεται από τα μοριακά και τα φυσικοχημικά τους γνωρίσματα. Ένας γαλακτωματοποιητής, μπορεί να είναι περισσότερο διαλυτός στο νερό ή σε έλαιο, δηλαδή να έχει υδροφιλικό ή λιποφιλικό χαρακτήρα με βάση την αναλογία πολικών και μη πολικών τμημάτων του μορίου του.



Εικόνα 13. Διάταξη μορίων γαλακτωματοποιητή με υψηλή HLB, σε γαλάκτωμα ο/w και με χαμηλή HLB, σε γαλάκτωμα w/o.

Η ισορροπία ανάμεσα στον υδρόφιλο και τον υδρόφοβο χαρακτήρα ενός γαλακτωματοποιητή εκφράζεται με ένα καθαρό αριθμό που είναι δηλωτικός της τάσης προσκόλλησης του με τη λιπαρή ή την υδατική φάση. Όλοι οι γαλακτωματοποιητές χαρακτηρίζονται από έναν αριθμό ο οποίος προκύπτει από τη χημική δομή του γαλακτωματοποιητή και αυτός καλείται Υδρόφιλη Λιποφιλική Ισορροπία (Hydrophilic - Lipophilic - Balance, HLB) και εκφράζει την αναλογία μεταξύ του υδρόφιλου και του λιπόφιλου τμήματος του μορίου μιας επιφανειοδραστικής ουσίας. Ο αριθμός αυτός παίρνει τιμές από μία αυθαίρετη κλίμακα από το 1-20 και εκφράζει την σχέση ανάμεσα στο υδρόφιλο και στο λιπόφιλο τμήμα. Υψηλή τιμή HBL, σημαίνει ότι τα υδρόφιλα τμήματα είναι σε μεγαλύτερη αναλογία μεγαλύτερη αναλογία έναντι των υδρόφοβων του και αντιστρόφως. Ο HBL είναι ενδεικτικός για ποιο τύπο γαλακτώματος είναι κατάλληλος κάποιος γαλακτωματοποιητής. Υπάρχουν πολλοί τύποι για τον υπολογισμό της τιμής HLB (Birdi, 2009). Από τον Davis προτάθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$HLB = 7 + \sum(\text{αριθμός υδρόφιλων ομάδων}) - \sum(\text{αριθμός υδρόφοβων ομάδων})$$

Για μίγμα δυο τασενεργών, η μέση τιμή HLB είναι:

$$HLB = x_1 HLB_1 + x_2 HLB_2$$

όπου x_1 και x_2 είναι τα κλάσματα μάζας των δύο τασενεργών (Tadros, 2013). Η τιμή HBL είναι ένδεικτική όχι μόνο για το ποσοστό διαλυτότητας, του γαλακτωματοποιητή στη λιπαρή ή στην υδατική φάση, αλλά και για τον τύπο γαλακτώματος που θα παρασκευαστεί. Τιμές HBL μεταξύ 4 - 6 αντιστοιχούν σε κυρίως υδρόφοβο γαλακτωματοποιητή, που μπορεί να διαλυθεί στη λιπαρή φάση και να σταθεροποιήσει γαλακτώματα τύπου νερό σε έλαιο, δημιουργώντας κολλοειδή τύπου ανάστροφου μικκυλίου στη λιπαρή φάση. Υψηλότερες τιμές HBL μεταξύ 8 - 18, αντιστοιχούν σε κυρίως υδρόφιλο γαλακτωματοποιητή, που μπορεί να διαλυθεί στην υδατική φάση και να σταθεροποιήσει γαλακτώματα τύπου έλαιο σε νερό δημιουργώντας κολλοειδή τύπου μικκυλίου στην υδατική φάση. Οι ενδιάμεσες τιμές HBL (6-8) αντιστοιχούν σε γαλακτωματοποιητές που δεν προτιμούν ιδιαίτερα την υδατική ή λιπαρή φάση. Τιμές HBL μικρότερες από 4 και μεγαλύτερες από 18, αντιστοιχούν σε γαλακτωματοποιητές με αφόρτιστες κεφαλές που είναι λιγότερο επιφανειοενεργοί οπότε δεν παρουσιάζουν την τάση συγκέντρωσης στη διεπιφάνεια λιπαρής υδατικής φάσης.

Πίνακας 4. Τιμές HBL και αντίστοιχες εφαρμογές γαλακτωματοποιητών (Mollet, 2001).

HBL	Εφαρμογή
0 – 3	Αντί-αφριστικός παράγοντας
4 – 6	Γαλακτωματοποιητής σε γαλακτώματα τύπου νερό σε έλαιο
7 – 9	Τασιενεργή ουσία (Διαβρεκτικοί παράγοντες)
8 – 18	Γαλακτωματοποιητής σε γαλακτώματα τύπου έλαιο σε νερό
13 – 15	Απορρυπαντικά
10 – 18	Διαλυτοποιητές (solubilizers)

2.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΩΝ

Με βάση τη φύση της στιβάδας που δημιουργούν στην διεπιφάνεια των δύο υγρών φάσεων οι γαλακτωματοποιητές, ταξινομούνται σε: α) Επιφανειοδραστικές ουσίες β) Υδρόφιλα κολλοειδή γ) Στερεά σωματίδια σε λεπτό καταμερισμό.

Αναλυτικότερα: α) Οι επιφανειοδραστικές ουσίες προσροφώνται στην επιφάνεια των διεσπαρμένων σταγονιδίων με αποτέλεσμα το σχηματισμό μονομοριακής στιβάδας, οπότε ελαττώνεται η επιφανειακή τάση ανάμεσα στα δύο υγρά, όπως π.χ. οι σάπωνες. β) Τα υδρόφιλα κολλοειδή είναι συνήθως μοριακές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους με φυσική προέλευση, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, ζελατίνη, αραβικό κόμμι, συνθετικά πολυμερή, που μπορούν να διαταχθούν ως στιβάδα πολλών μορίων που περιβάλλει τα σταγονίδια του ελαίου στα γαλακτώματα τύπου (o/w). Επίσης προκαλούν αύξηση του ιξώδους της υδατικής φάσης και επομένως την σταθεροποιούν. γ) Τα στερεά σωματίδια σε λεπτό καταμερισμό, σχηματίζουν μια στιβάδα που περιβάλλει την επιφάνεια των σταγονιδίων εμποδίζοντας τα σταγονίδια να συνενωθούν. Τα στερεά σωματίδια σε λεπτό καταμερισμό δρουν ως γαλακτωματοποιητές μόνα ή συνδυαζόμενα με τα υδρόφιλα κολλοειδή ή τις επιφανειοδραστικές ουσίες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο μπεντονίτης, ο άνθρακας, η τριστεατική γλυκερίνη (Αυγουστάκης, 2001).

Με βάση την προέλευση τους οι γαλακτωματοποιητές ταξινομούνται σε φυσικούς και συνθετικούς: Οι φυσικοί κατηγοριοποιούνται σε: 1) Φυτικής προέλευσης, όπως Αραβικό κόμμι, άγαρ, τραγάκανθα. 2) Ζωικής προέλευσης, όπως Λεκιθίνη, ζελατίνη, λανολίνη, καζεΐνη. 3) Ανόργανης προέλευσης όπως Μπεντονίτης, γάλα Μαγνησίας, Veegum. Οι συνθετικοί κατηγοριοποιούνται σε: 1) Ανιονικούς όπως οι Σάπωνες, 2) Κατιονικούς όπως τα χλωριούχο βενζαλκόνιο, χλωριούχο βενζενθώνιο,

κλπ. 3) Μη ιονικούς όπως οι μονοστεατική γλυκερίνη, Spans, Tweens. Οι μη ιονικοί κατηγοριοποιούνται με τη σειρά τους σε λιπόφιλους και υδρόφιλους. Λιπόφιλοι είναι η μονοστεατική γλυκερίνη και οι εστέρες της σορβιτάνης με λιπαρά οξέα (Spans). Υδρόφιλοι είναι τα Tweens (πολυοξυαιθυλενοπαράγωγα των Spans) και οι εστέρες της πολυαιθυλενογλυκόλης με λιπαρά οξέα (Σανιδά, 2014).

Με βάση το είδος της υδρόφιλης ομάδας, οι γαλακτωματοποιητές ταξινομούνται σε (Rosen, 2014)

(α) Ανιονικούς, όπου φέρεται αρνητικό φορτίο από το τασενεργό κομμάτι του μορίου όπως στα RCOO^-Na^+ (σαπούνι), $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^-\text{Na}^+$ (σουλφονικό αλκυλοβενζόλιο)

(β) Κατιονικούς, όπου φέρεται θετικό φορτίο από το τασενεργό κομμάτι του μορίου όπως στα $\text{RNH}_3^+\text{Cl}^-$ (άλας αμίνης με μεγάλη σχετική ατομικά μάζα), $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$ (τετραδικό χλωριούχο αμμώνιο)

(γ) Αμφιπολικούς. Στο τασενεργό κομμάτι του μορίου υπάρχουν και θετικά και αρνητικά ιόντα, όπως στα $\text{RN}^+\text{H}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ (αμινοξύ μακριάς αλυσίδας), $\text{RN}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$ (σουλφοβεταΐνη)

(δ) Μη ιονικούς όπου δεν φέρεται κανένα εμφανές ιονικό φορτίο από το τασενεργό κομμάτι του μορίου όπως στα $\text{RCOOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ (μονογλυκερίδιο λιπαρού οξέος μακριάς αλυσίδας), $\text{RC}_6\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_x\text{OH}$ (πολυοξυαιθυλενωμένη (πολυοξυαιθυλενωμένη αλκοόλη), αλκυλφαινόλη), $\text{R}(\text{OC}_2\text{H}_4)_x\text{OH}$

Με βάση την σχετική μοριακή τους μάζα, M_r , οι γαλακτωματοποιητές ταξινομούνται σε δυο κύριες κατηγορίες: α) Γαλακτωματοποιητές μεγάλης σχετικής ατομικής μάζας (βιοπολυμερή, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) και β) Γαλακτωματοποιητές μικρής σχετικής μοριακής μάζας (surfactants).

α) Γαλακτωματοποιητές μεγάλης σχετικής μοριακής μάζας, όπως τα βιοπολυμερή. Τέτοια είναι οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες και έχουν ευρεία χρήση ως λειτουργικά συστατικά των γαλακτωμάτων. Σταθεροποιούν το γαλάκτωμα, προκαλώντας αύξηση ιξώδους του συστήματος, σχηματίζοντας πηκτές (gels). Οι ιδιότητες των διαλυμάτων τους επηρεάζονται, σε μεγάλο βαθμό από τη σχετική μοριακή τους μάζα, τη διάταξη, την ελαστικότητα του μορίου καθώς και την πολικότητά τους. Ο τύπος και η αλληλουχία των μονομερών τους είτε είναι αμινοξέα για τις πρωτεΐνες ή απλά σάκχαρα για τους πολυσακχαρίτες, είναι υπεύθυνα για τα χαρακτηριστικά των πολυμερών αυτών.

Οι πρωτεΐνες είναι μεγάλα αμφίφιλα βιομόρια, αποτελούμενα από αλυσίδες αμινοξέων, που συνδέονται μεταξύ τους με αμιδικούς δεσμούς. Αφού σχηματιστεί ένα

πολυπεπτιδίο πρωτεΐνης, η πολυπεπτιδική αλυσίδα περιελίσσεται στο χώρο έτσι ώστε οι υδρόφοβες πλευρικές ομάδες να είναι στραμμένες προς το εσωτερικό του μορίου ενώ οι υδρόφιλες προς το εξωτερικό. Η χρήση πολλών πρωτεϊνών ως γαλακτωματοποιητές, οφείλεται στο γεγονός ότι είναι επιφανειοδραστικά μόρια που διευκολύνουν την γαλακτωματοποίηση, σταθεροποιούν τα γαλακτώματα και να δίνουν τις ζητούμενες φυσικοχημικές ιδιότητες σε γαλακτώματα τύπου έλαιο σε νερό. Προσροφώνται στις επιφάνειες των λιπωδών σφαιριδίων που έχουν προκύψει από την ομογενοποίηση του μίγματος έλαιο – νερό-πρωτεΐνη και μειώνοντας την διεπιφανειακή τάσης, βοηθούν την παραπέρα διάσπαση των λιποσφαιρίων. Παράλληλα, σχηματίζοντας προστατευτικές μεμβράνες γύρω από τα λιποσφαίρια, καθυστερούν τη συνένωση τους.

Ως προς τη διεπιφάνεια, ελαίου - νερού, η πολυπεπτιδική αλυσίδα διατάσσεται έτσι ώστε τα υδρόφοβα τμήματά της να εισέρχονται στη λιπαρή φάση, ενώ τα υδρόφιλα να περιορίζονται στην υδατική. Ταυτόχρονα, μεταξύ των προσροφημένων στη διεπιφάνεια, μορίων πρωτεΐνης αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου, δεσμοί Van der Waals και υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις οπότε δημιουργείται ένα ιξωδοελαστικό υμένιο που ευνοεί την ανάπτυξη απωστικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα λιποσφαίρια. Η σχηματιζόμενη αυτή μεμβράνη – υμένιο, έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και ιξωδοελαστικότητα, όταν προκύπτει από γαλακτωματοποιητές- πρωτεΐνες σε σχέση με άλλους γαλακτωματοποιητές μικρού μοριακού βάρους.

β) Γαλακτωματοποιητές μικρής σχετικής μοριακής μάζας. Είναι επιφανειοδραστικές ή τασιενεργές ουσίες με χαμηλή σχετική μοριακή μάζα και αμφίφυλο χαρακτήρα. Στην υδρόφοβη κεφαλή υπάρχει συνήθως μια επιμήκης αλυσίδα λιπαρών οξέων ενώ η υδρόφιλη ουρά μπορεί να έχει ιοντικό χαρακτήρα ανιόντος ή κατιόντος ή αμφοτερικό. Έτσι με βάση τη φύση του υδρόφιλου τμήματος, οι γαλακτωματοποιητές χαμηλής σχετικής μοριακής μάζας, διακρίνονται σε ανιοντικούς, κατιοντικούς, και ουδέτερους. Οι κατιονικοί δεν είναι κατάλληλοι για χρήση σε τρόφιμα καθώς έχουν συνήθως βακτηριοκτόνο, τοξική δράση. Οι μη ιονικοί έχουν το πλεονέκτημα της ανθεκτικότητας σε μεταβολές του pH, στη συγκέντρωση αλάτων στην υδατική φάση. Οι ιονικοί γαλακτωματοποιητές επηρεάζονται ως προς τη λειτουργικότητά τους από το pH και την ιονική ισχύ.

Με βάση την αντίδραση σύνθεσής τους, οι γαλακτωματοποιητές διακρίνονται σε φυσικούς όπως η λεκιθίνη, σε ημισυνθετικούς ή συνθετικούς, με τις δυο τελευταίες

κατηγορίες να προκύπτουν από αντιδράσεις συμπύκνωσης και πολυμερισμού πολλών σταδίων.

Στη συνέχεια ταξινομούνται με κριτήριο κάποια γνωρίσματά, όπως η προέλευσή τους, η τιμή HLB, τις λειτουργικές ομάδες στο μόριό τους και ο ενδεχόμενος ιοντισμός. Οι συνθήκες της αντίδρασης παρασκευής τους, προσδίδουν διαφορές στη σύσταση των γαλακτωματοποιητών χαμηλού μοριακού βάρους και αυτοί ταξινομούνται με βάση την κεντρική δομική τους μονάδα σε: 1) Λεκιθίνη και παράγωγά της. 2) Μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια και παράγωγα τους. 3) Εστέρες μόνο- και διγλυκεριδίων. 4) Πολυγλυκερολικοί εστέρες των λιπαρών οξέων. 5) Στεατικοί εστέρες του γαλακτικού οξέος. 6) Σορβικοί εστέρες του μονοστεατικού οξέος. 7) Προπυλενογλυκολικοί εστέρες των λιπαρών οξέων. 8) Εστέρες σακχαρόζης με λιπαρά οξέα (McClements, 2005).

Η επιλογή του κατάλληλου γαλακτωματοποιητή έχει καθοριστική σημασία τόσο για την παρασκευή όσο και για την σταθερότητα ενός γαλακτώματος. Ως προς τα φαρμακευτικά σκευάσματα πρέπει να πληρούνται, για την επιλογή ενός γαλακτωματοποιητή οι παρακάτω προϋποθέσεις: Να έχει συμβατότητα με τα άλλα συστατικά, να είναι ενισχυτικός της σταθερότητας του προϊόντος, να μην έχει επίδραση στην δραστικότητα ή στην βιοδιαθεσιμότητα του δραστικού συστατικού, να μην αποικοδομείται, η απαιτούμενη ποσότητά του να μην επιδρά τοξικά ως προς την σκοπιμότητα της χρήσης του, κατά προτίμηση να μην έχει οσμή, χρώμα και γεύση, να πληροί τις επιθυμητές ιδιότητες για τον ζητούμενο γαλακτώμα και να έχει ένα ανεκτό κόστος. Η ζητούμενη αναλογία, στην περίπτωση μιας επιφανειοδραστικής ουσία-γαλακτωματοποιητή, συνήθως κυμαίνεται στο 5%, ενώ για φυσικό γαλακτωματοποιητή που αυξάνει το ιξώδες, όπως η ζελατίνη, είναι χαμηλότερη. Μάλιστα δε, όταν συνδυάζεται ένας κατάλληλος λιπόφιλος με ένα κατάλληλο υδρόφιλο γαλακτωματοποιητή, μπορούν να προκύψουν ιδιαίτερα σταθερά γαλακτώματα.

Ταυτόχρονα με τους γαλακτωματοποιητές, χρησιμοποιούνται και άλλες βοηθητικές ουσίες, προς αύξηση του ιξώδους της εξωτερικής φάσης, βελτίωση της οσμής και της γεύσης κλπ. Οι ουσίες αυτές ανάλογα με την μοριακή τους δομή, ενσωματώνονται στην υδατική ή στην ελαιώδη φάση (Αυγουστάκης, 2001).

2.2.3 ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ

Οι τροποποιητές υφής μπορεί να είναι παράγοντες πύκνωσης ή παράγοντες πήξης και επιβραδύνουν την κίνηση των σταγονιδίων με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους της συνεχούς φάσης ή το σχηματισμό πηκτής (gel), οπότε ελαττώνεται η συχνότητα συγκρούσεων των σταγονιδίων. Στη βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιούνται πολυσακχαρίτες ή πρωτεΐνες για (o/w) γαλακτώματα και κρύσταλλοι λίπους για (w/o) γαλακτώματα. Πυκνωτικός παράγοντας είναι μια ουσία που προστίθεται στην διασπαρμένη φάση (σταγονίδια), για να μειώσει την διαφορά πυκνότητας μεταξύ των δυο φάσεων καθυστερώντας τον διαχωρισμό τους λόγω βαρύτητας. Οι αναστολείς ωρίμανσης είναι άπολες ουσίες (διαλύονται ελάχιστα στο νερό) που προστίθενται στην ελαιώδη φάση, (o/w) γαλακτωμάτων, για να εμποδίσουν την αύξηση της εντροπίας ανάμιξης (McClements, 2005).

Τα υδροκολλοειδή είναι υδρόφιλοι ετεροπολυσακχαρίτες με μεγάλη σχετική μοριακή μάζα και κολλώδεις ιδιότητες. Όταν διαλυθούν στο νερό σχηματίζουν gel δηλαδή αιωρήματα με υψηλό ιξώδες ή διαλύματα χαμηλής περιεκτικότητας σε ξηρή ουσία. Ως προς τα προϊόντα τροφίμων, χρησιμεύουν στη διαμόρφωση της μικροδομής, της γεύσης της υφής και στο χρόνο ζωής τους. Η δράση των υδροκολλοειδών είναι υπεύθυνη για την πήξη και τη δημιουργία gel, τη δημιουργία και τη σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων, το σχηματισμό αιωρημάτων, αφρών και το μικρό-εγκλεισμό ουσιών.

Ως «υδροκολλοειδή» εννοούνται όλοι οι πολυσακχαρίτες που μπορούν να παραληφθούν από φυτά, φύκη και μικροβιακές πηγές, κόμμεα από φυτικά εξιδρώματα αλλά και τροποποιημένα βιοπολυμερή μέσω χημικής και ενζυμικής επεξεργασίας αμύλου ή κυτταρίνης. Υδροκολλοειδές θεωρείται παρόλα αυτά, και η πρωτεΐνη ζελατίνη, καθώς έχει έντονα υδρόφιλο χαρακτήρα. Άλλα μόρια υδροκολλοειδών έχουν γραμμική δομή όπως η κυτταρίνη, η αμυλόζη και η πηκτίνη και άλλα διακλαδισμένη δομή.

Η γραμμική δομή που είναι η πλέον διαδεδομένη στη φύση, δημιουργείται από επανάληψη μονάδων απλών σακχάρων ή παραγώγων τους που, μπορεί να έχουν πλευρικές διακλαδώσεις από τις κατηγορίες των σακχάρων, πολυσακχαριτών, μεθυλεστέρων, θειικές ομάδες ή καρβοξυλομάδες. Οι πλευρικές ομάδες των μορίων επιδρούν καθοριστικά στις ιδιότητες των υδροκολλοειδών. Τα μόρια των πολυσακχαριτών έχουν πολύ μικρή επιφανειοδραστικότητα γιατί είναι μεν υδρόφιλα

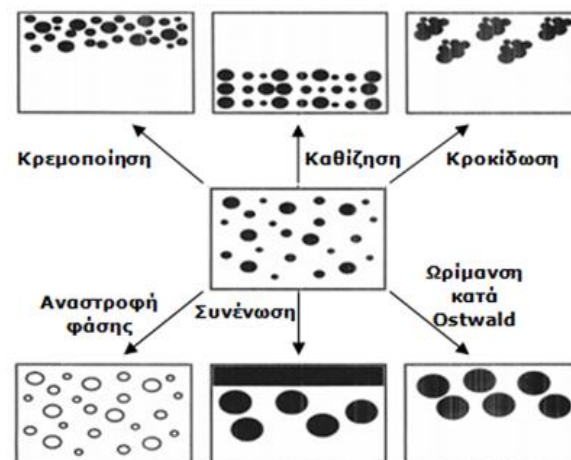
αλλά συνήθως λόγω του μεγάλου Μr τους, δεν προσροφώνονται σε υδρόφιλες επιφάνειες, με εξαίρεση τη ζελατίνη, το αραβικό κόμμι, κάποιες φυσικές γαλακτωμαννάνες (κόμμι γκουάρ), τροποποιημένα παράγωγα αμύλου ή κυτταρίνης, ακετυλιωμένη πηκτίνη από ζαχαρότευτλα και αποπολυμερισμένη πηκτίνη από κίτρο.

Τα υδροκολλοειδή αποτελούν σταθεροποιητές για τα γαλακτώματα, καθώς προσδίδουν μακροπρόθεσμα, σταθερότητα στα κολλοειδή τροφίμων, πιθανά με ένα πιθανό μηχανισμό προσρόφησης. Πολυσακχαρίτες μεγάλης σχετικής μοριακής μάζας όπως η ξανθάνη ή τα παράγωγα κυτταρίνης είναι σταθεροποιητές, αλλά όχι και γαλακτωματοποιητές, καθώς από μόνοι τους δεν βοηθούν να σχηματιστεί γαλάκτωμα, αλλά σταθεροποιούν ένα που έχει ήδη διαμορφωθεί. Οι μεγάλοι μοριακού βάρους πολυσακχαρίτες κυρίως δρουν μεταβάλλοντας το ιζώδες ή προκαλώντας ζελατινοποίηση στο υδατικό μέσο.

2.3 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

Με τον όρο σταθερότητα γαλακτωμάτων, περιγράφεται η ικανότητα αντίστασης ενός γαλακτώματος στις μεταβολές των ιδιοτήτων του, με το πέρασμα του χρόνου. Πολλές διαφορετικές φυσικοχημικές διαδικασίες ευθύνονται για την αποσταθεροποίηση των γαλακτωμάτων και με βάση τον πιο καθοριστικό μηχανισμό, αναπτύσσονται οι κατάλληλες στρατηγικές που μπορούν να βελτιώσουν την σταθερότητα ενός γαλακτώματος.

Οι πιο κοινοί μηχανισμοί που ευθύνονται για την αστάθεια των γαλακτωμάτων στα τρόφιμα, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 14. Αναπαράσταση των διεργασιών που καταστρέφουν τα γαλακτώματα (Tadros, 2013).

Η κρεμοποίηση (creaming) συμβαίνει λόγω των διαφορών πυκνότητας μεταξύ των φάσεων οπότε τα ελαφρύτερα ελαιώδη σταγονίδια ανέρχονται στην επιφάνεια. Παρομοίως λειτουργεί και η καθίζηση (precipitation), με βάση τις ίδιες αρχές, αλλά τυπικά παρατηρείται στα (w/o) γαλακτώματα, οπότε τα πυκνότερα σταγονίδια νερού καθιζάνουν στον πυθμένα. Η κρεμοποίηση και η καθίζηση μπορούν να μετριαστούν με αύξηση του ιξώδους της συνεχούς φάσης, η οποία θα εμποδίσει την κίνηση των σταγονιδίων.

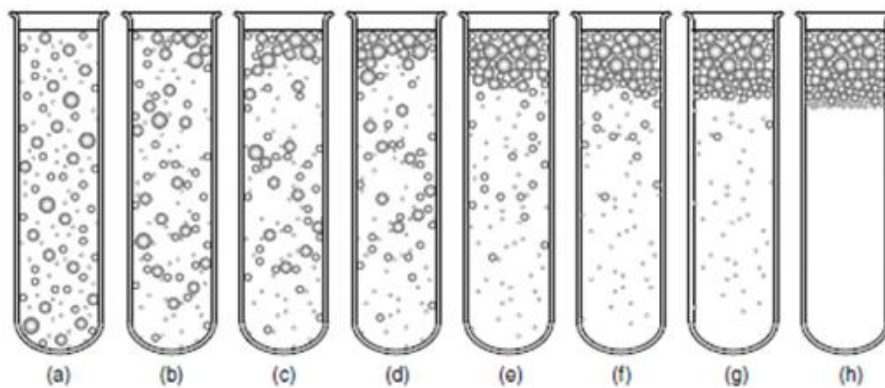
Οι συγκρούσεις των σωματιδίων σε ένα γαλάκτωμα, είναι αναπόφευκτες εξαιτίας των σχετικών κινήσεων. Αυτές οι συγκρούσεις μπορούν να οδηγήσουν σε κροκίδωση, όταν τα σταγονίδια συσσωρευτούν σε συστάδες, χωρίς να διαρρηγνύεται η διεπιφανειακή μεμβράνη ή σε συνένωση όταν τα σταγονίδια έρχονται σε επαφή και η διεπιφανειακή μεμβράνη διαρρηγνύεται, οπότε τα σταγονίδια και το περιεχόμενό τους συγχωνεύονται.

Ενώ η κρεμοποίηση (creaming) και η κροκίδωση (flocculation) δεν αυξάνουν απευθείας το μέγεθος των σταγονιδίων, συχνά προηγούνται της συνένωσης (coalescence), η οποία θεωρείται ευρέως ως ο πιο κρίσιμος μηχανισμός της αποσταθεροποίησης των γαλακτωμάτων. Η συνένωση μπορεί να αποφευχθεί με προσεκτική επιλογή σταθεροποιητών όπως οι τροποποιητές υφής ή οι παράγοντες βαρύτητας που εμποδίζουν την κίνηση Brown. Η ωρίμανση κατά Ostwald ακολουθεί άλλο μονοπάτι. Προκύπτει όταν μόρια από τις μικρότερες διασπαρμένες σταγόνες διαλύονται στην συνεχή φάση και μετά διαχέονται προς μεγαλύτερα σταγονίδια από τα οποία απορροφώνται τελικά. Αυτή η διαδικασία προκαλεί αύξηση στα μεγαλύτερα σταγονίδια σε βάρος των μικρότερων. Η αιτία πίσω από την ωρίμανση Ostwald είναι η διαφορά της πίεσης Laplace, που είναι υψηλότερη στα μικρότερα σταγονίδια εξαιτίας μεγαλύτερης καμπυλότητάς τους. Αυτή η διαβάθμιση πίεσης προωθεί μεταφορά μάζας από τα μικρότερα στα μεγαλύτερα σταγονίδια, με απώτερη κατάληξη την αποσταθεροποίηση του γαλακτώματος (Kapolos et al., 2025).

Αναλυτικότερα οι διεργασίες αποσταθεροποίησης των γαλακτωμάτων είναι:

A) Η αποκορύφωση ή κρεμοποίηση (Creaming) και η καθίζηση (sedimentation) είναι μορφές βαρυτικού διαχωρισμού των φάσεων. Κατά την αποκορύφωση, τα σταγονίδια κινούνται προς τα πάνω εξαιτίας της μικρότερης πυκνότητάς τους σε σχέση με το περιβάλλον υγρό, ενώ κατά την καθίζηση τα σταγονίδια κινούνται προς τα κάτω, καθώς έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από το περιβάλλον υγρό. Στα γαλακτώματα (o/w) παρατηρείται συνήθως κρεμοποίηση εξαιτίας της προς τα πάνω μετακίνησης των

σταγονιδίων του λαδιού, ενώ στα γαλακτώματα (w/o) παρατηρείται η καθίζηση εξαιτίας της προς τα κάτω μετακίνησης των σταγονιδίων του νερού. Πρόληψη της αποκορύφωσης και της καθίζησης μπορεί να γίνει μεταξύ άλλων και με τις παρακάτω μεθόδους: 1) Συνταίριασμα των πυκνοτήτων ελαιώδους και υδατικής φάσης που όμως δεν είναι πρακτική μέθοδος καθώς αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί σε μια θερμοκρασία. 2) Μείωση του μεγέθους των σταγονιδίων σε ένα όριο κάτω από το οποίο η κίνηση Brown μπορεί να υπερβεί την βαρύτητα. Αυτή είναι η αρχή σχηματισμού νανογαλακτωμάτων, τα οποία παρουσιάζουν ελάχιστη ή και καμία αποκορύφωση ή καθίζηση. 3) Χρήση παχυντών (thickeners): Αυτά είναι πολυμερή υψηλού Μ_w, φυσικά ή συνθετικά όπως ξανθανικό κόμμι (Xanthan gum), υδρόξυαιθυλική κυτταρίνη, αλγινικά άλατα (alginates) και καραγενάνη (carragenans) (Tadros, 2013).



Εικόνα 15. Απεικόνιση της αποκορύφωσης σε σχέση με το χρόνο, σε γαλάκτωμα τύπου έλαιο σε νερό, σχήμα (McClements, 2005).

Πολλά μαθηματικά μοντέλα προβλέπουν την αποκορύφωση των γαλακτωμάτων. Ο νόμος του Stokes περιγράφει τον ρυθμό αποκορύφωσης ενός μεμονωμένου συμπαγούς σωματιδίου μέσα σε ένα ιδανικό (Νευτώνειο) υγρό. Από το πρόσημο καθορίζεται αν το σωματίδιο κινείται προς τα πάνω (+) ή προς τα κάτω (-).

$$v_{Stokes} = -\frac{2gr^2(\rho_2 - \rho_1)}{9\eta_1}$$

όπου,

v_{Stokes} : η ταχύτητα αποκορύφωσης

r : η ακτίνα του σωματιδίου

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

ρ : η πυκνότητα

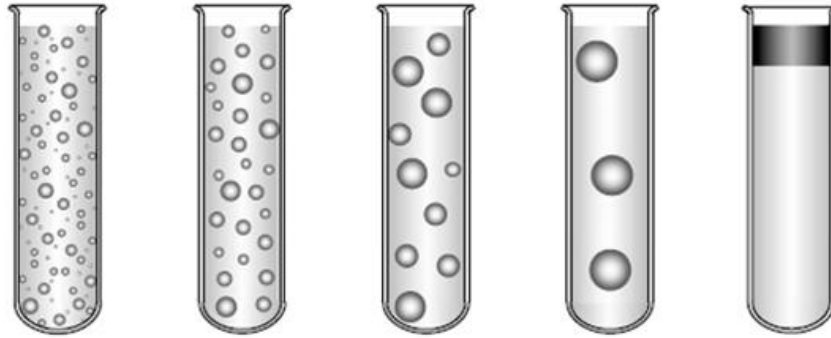
η : το ιξώδες

1,2 : αναφέρονται στην συνεχή και στην διεσπαρμένη φάση αντίστοιχα

(McClements, 2005).

B) Η κροκίδωση (floculation) και η συνένωση (coalescence) είναι μορφές συσσωμάτωσης σωματιδίων. Η κροκίδωση συμβαίνει όταν δυο ή περισσότερα σταγονίδια συνενώνονται έτσι ώστε να διατηρήσουν την ακεραιότητά τους, σε συστάδες. Οφείλεται στη δράση των ελκτικών δυνάμεων Van den Waals και συμβαίνει όταν οι σταγόνες βρίσκονται σε αποστάσεις, όπου οι έλξεις Van der Waals είναι αρκετά αποτελεσματικές εξαιτίας της απουσίας κατάλληλων απωστικών δυνάμεων. Ανάλογα με το πόσο ισχυρές είναι οι ελκτικές δυνάμεις, η κροκίδωση μπορεί να είναι «ισχυρή» ή «ασθενής». Στην κροκίδωση, υπάρχει μια δυναμική ισορροπία ανάμεσα στις συστάδες των σταγόνων και τις μεμονωμένες σταγόνες, οπότε σταγόνες μπορεί να εγκαταλείπουν τη συστάδα καθώς άλλες την προσεγγίζουν. Άρα η κροκίδωση είναι μια εύκολα αναστρέψιμη διεργασία, σε αντίθεση με τη συνένωση, αν και η κροκίδωση συχνά οδηγεί σε συνένωση. Για την αποφυγή ή τον περιορισμό της κροκίδωσης είτε (α) γίνεται φόρτιση των σταγονιδίων του γαλακτώματος με ιονικά τασενεργά, είτε (β) με τη βοήθεια στερικών φαινομένων, σταθεροποιούνται οι σταγόνες, και συνεπώς και τα γαλακτώματα (Tadros,2013). Η συνένωση είναι μια διαδικασία συγχώνευσης δυο ή περισσότερων σταγονιδίων που οδηγεί στο σχηματισμό μιας μεγαλύτερης σταγόνας. Αποτελεί τον κύριο μηχανισμό που μπορεί να οδηγήσει ένα γαλάκτωμα προς μια κατάσταση θερμοδυναμικά σταθερότερη, καθώς μειώνεται η περιοχή επαφής μεταξύ των φάσεων ελαίου και νερού. Μπορεί να προκύψει μόνο όταν η απόσταση μεταξύ των σταγονιδίων είναι πολύ μικρή και η λεπτή μεμβράνη υλικού που τα διαχωρίζει διαρρηγνύεται. Η προϋπόθεση της στενής επαφής των σταγονιδίων, υποδηλώνει ότι η συνένωση δεν καθορίζεται τόσο από την κροκίδωση ή το διαχωρισμό λόγω βαρύτητας αλλά από τις δυνάμεις μικρής εμβέλειας και τα μοριακά χαρακτηριστικά του

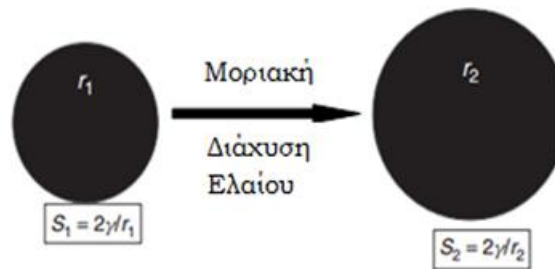
συστήματος. Η συσσωμάτωση, οδηγεί σε επιτάχυνση της αποκορύφωσης ή της καθίζησης στα γαλακτώματα, καθώς το μέγεθος των σταγονιδίων αυξάνεται. Στα γαλακτώματα τύπου έλαιο σε νερό η συσσωμάτωση οδηγεί τελικά στο σχηματισμό ενός στρώματος ελαίου στην κορυφή, ενώ σε γαλακτώματα τύπου νερό σε έλαιο οδηγεί στη συσώρευση ύδατος στο κάτω μέρος (McClements, 2016).



Εικόνα 16. Η μέση διάμετρος αυξάνεται καθώς τα σταγονίδια συσσωματώνονται και τελικά η υδατική με την ελαιώδη φάση διαχωρίζονται πλήρως (McClements, 2005).

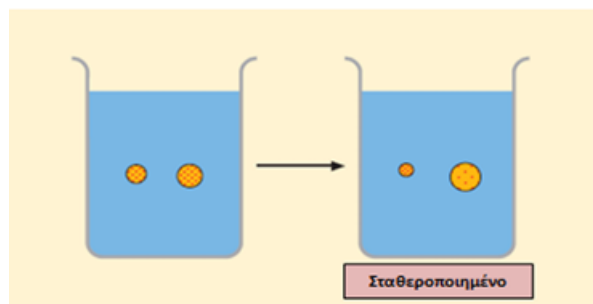
Μια πολύ μεγάλη συνένωση σταγονιδίων μπορεί τελικά να έχει αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ξεχωριστού στρώματος λαδιού στην κορυφή του γαλακτώματος, η οποία είναι γνωστή ως «oiling-off». Μέσω της μερικής συνένωσης δύο ή περισσότερα μερικώς κρυσταλλικά σταγονίδια ενός γαλακτώματος (o/w) συγχωνεύονται, οπότε προκύπτει ένα συσσωμάτωμα με ακανόνιστο σχήμα, καθώς στερεοί κρύσταλλοι από ένα σταγονίδιο διεισδύουν στην περιοχή του υγρού ενός άλλου σταγονιδίου.

Γ) Όταν οι μεγάλες σταγόνες μεγεθύνονται σε βάρος των μικρότερων, προκύπτει μια άλλη περίπτωση γήρανσης των γαλακτωμάτων. Το φαινόμενο ονομάζεται ωρίμανση κατά Ostwald (Ostwald ripening or disproportionation) και οφείλεται στην περιορισμένη διαλυτότητα μεταξύ των υγρών φάσεων. Πολλές φορές, τα μη αναμίξιμα υγρά έχουν παρόμοιες μεταξύ τους διαλυτότητες που είναι μικρές, αλλά όχι αμελητέες. Όταν έχουμε γαλακτώματα, που είναι πολυδιασπορές σταγονιδίων, εξαιτίας φαινομένων καμπυλότητας που επηρεάζουν την πίεση εντός των σταγόνων, οι μικρότερες σταγόνες έχουν μεγαλύτερη διαλυτότητα συγκριτικά με τις μεγαλύτερες. Με το χρόνο, σταδιακά οι μικρότερες σταγόνες εξαφανίζονται και τα μόριά τους διαχέονται στη συνεχή φάση και τελικά αποτίθενται στις μεγαλύτερες σταγόνες. Με την πάροδο του χρόνου η κατανομή των διαμέτρων των σωματιδίων μετατοπίζεται σε υψηλότερες τιμές (Tadros, 2013).



Εικόνα 17. Αναπαράσταση της ωρίμανσης κατά Ostwald, σχήμα (Tadros, 2013).

Το φαινόμενο της ωρίμανσης κατά Ostwald μπορεί να μειωθεί με διάφορους τρόπους. Μια περίπτωση είναι να προστεθεί ένα συστατικό, ελάχιστα διαλυτό στη συνεχή φάση, που δρα βοηθητικά. Για παράδειγμα αν η συνεχής φάση είναι υδατική μπορεί να γίνει προσθήκη ενός υδρογονάνθρακα που είναι μια εξαιρετικά υδρόφοβη ουσία. Αυτό οδηγεί σε μια σταθερής ισορροπία ανάμεσα στις σταγόνες. Καθώς οι σταγόνες της προστιθέμενης ουσίας περιέχουν την αρχική διασπαρμένη φάση σε διαλυμένη κατάσταση, το γαλάκτωμα μπορεί τότε να θεωρηθεί γαλάκτωμα της βοηθητικής ουσίας. Σε άλλη μέθοδο τροποποιείται το διεπιφανειακό φιλμ στη διεπιφάνεια νερού/ελαίου. Επιτυγχάνεται με χρήση τασενεργών με ισχυρή προσρόφηση στη διεπιφάνεια (π.χ. πολυμερή) και τα οποία δεν εκροφώνται κατά την ωρίμανση (Tadros, 2013).



Εικόνα 18. Η ωρίμανση κατά Ostwald, παρεμποδίζεται με την προσθήκη βοηθητικής ουσίας.

Δ) Κατά την αναστροφή φάσης ένα γαλάκτωμα (o/w), μετατρέπεται σε ένα γαλάκτωμα (w/o) και αντιστρόφως. Η αναστροφή φάσης μπορεί να προκληθεί επειδή μεταβλήθηκε η σύνθεση ή οι περιβαλλοντικές συνθήκες ενός γαλακτώματος, όπως για παράδειγμα το κλάσμα όγκου της διασπαρμένης φάσης, το είδος και η περιεκτικότητα του γαλακτωματοποιητή, η θερμοκρασία ή ο τρόπος μηχανικής ανάδευσης. Ορισμένοι μόνο τύποι γαλακτωμάτων είναι ικανοί να μην διαχωρίζονται μετά από υποβολή σε αναστροφή φάσης. Αυτό το γεγονός οφείλεται στην ικανότητά τους να είναι σε

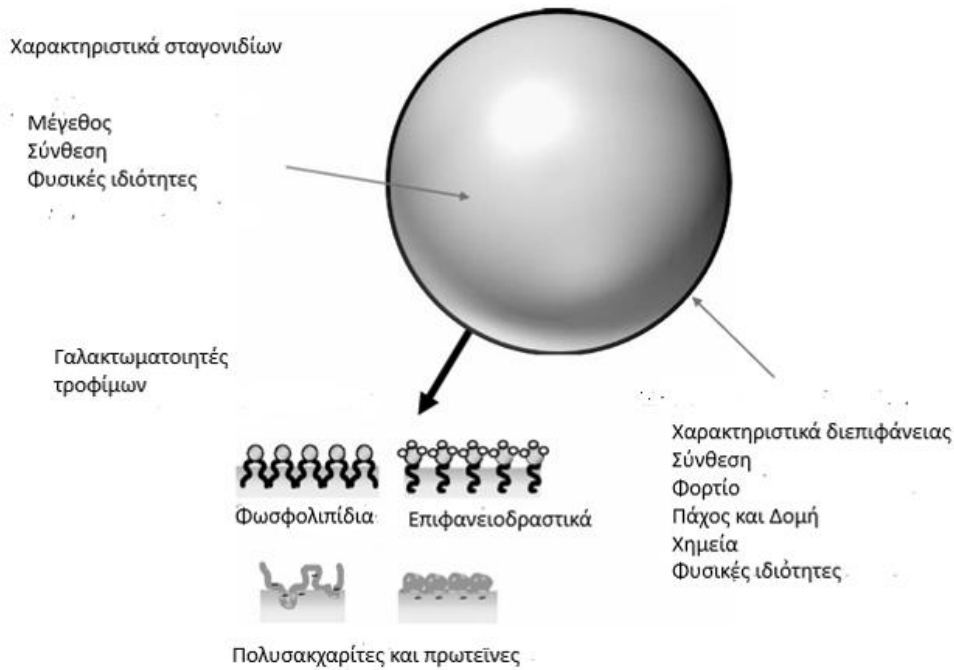
κινητικά σταθερή κατάσταση και πριν και μετά την αναστροφή φάσης. Για να εμποδιστεί ο διαχωρισμός του γαλακτώματος στις φάσεις που το συνιστούν πρέπει να γίνεται συνεχής ανάδευση κατά τη διαδικασία αναστροφής φάσης. Η φυσικοχημική προσέγγιση της αναστροφής φάσης είναι εξαιρετικά περίπλοκη καθώς εμπλέκει την κροκίδωση, την συσσωμάτωση και τον σχηματισμό γαλακτώματος. Κατά τη διαδικασία της αναστροφής φάσης, μπορεί να περιέχονται στο σύστημα ταυτόχρονα περιοχές γαλακτώματος τύπου έλαιο σε νερό, περιοχές γαλακτώματος τύπου νερό σε έλαιο, πολλαπλό γαλακτώμα και ασυνεχείς φάσεις. Το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων κατά την παραγωγή προϊόντων όπως τα βούτυρα και οι μαργαρίνες. Σε πολλά τρόφιμα όμως μπορεί να αλλοιώσει την εμφάνιση, την υφή, τη σταθερότητα και το χρώμα (McClements, 2005).

Πέρα από τα παραπάνω, διάφορες χημικές, βιοχημικές και μικροβιολογικές διαδικασίες, όπως οξείδωση λιπών, υδρόλυση ενζύμων, ανάπτυξη βακτηρίων, μπορούν να επιδράσουν στην χρόνο ζωής και στην ποιότητα των γαλακτωμάτων.

2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα γαλακτώματα είναι ετερογενή υλικά και η σύνθεσή τους διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή που εξετάζονται. Γενικά, αποτελούνται από τρεις διακριτές περιοχές με διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες: το εσωτερικό των σταγονιδίων, τη συνεχή φάση και την διεπιφάνεια, βλ. σχήμα:



Εικόνα 19. Διακριτές περιοχές γαλακτώματος

Τα μόρια του γαλακτώματος διανέμονται μεταξύ των τριών περιοχών, ανάλογα με την συγκέντρωση και την πολικότητά τους. Μη πολικά μόρια τείνουν να εντοπίζονται στην φάση του λαδιού, πολικά μόρια στην υδατική φάση και αμφιφιλικά μόρια στη διεπιφάνεια. Ακόμα και στην κατάσταση ισορροπίας υπάρχει μια συνεχής ανταλλαγή μορίων μεταξύ των διαφορετικών περιοχών του συστήματος. Μεταβολές στις συνθήκες περιβάλλοντος όπως μεταβολή θερμοκρασίας ή αραιώση επιδρούν στην ταχύτητα αυτών των ανταλλαγών. Όλα αυτά έχουν σημαντική επίδραση στην σταθερότητα και τα χαρακτηριστικά του γαλακτώματος. Ο σχηματισμός των γαλακτωμάτων είναι δυναμική διαδικασία που εμπλέκει την βίαιη διαταραχή των σταγονιδίων και την ταχεία κίνηση των επιφανειοδραστικών μορίων από τα υγρά στην περιοχή της διεπιφάνειας. Ακόμα και μετά τον σχηματισμό τους, τα σταγονίδια ενός γαλακτώματος είναι σε συνεχή κίνηση και συχνά συγκρούονται μεταξύ τους λόγω της κίνησης Brown, της βαρύτητας ή των μηχανικών δυνάμεων που ασκούνται. Η συνεχή κίνηση και αλληλεπίδραση των σταγονιδίων έχει ως αποτέλεσμα την εξέλιξη των ιδιοτήτων των γαλακτωμάτων στο χρόνο εξαιτίας των μηχανισμών αποσταθεροποίησης που προαναφέρθηκαν. Ακόμα και χημικές αντιδράσεις μπορεί να συμβούν στο εσωτερικό των σταγονιδίων, στην διεπιφάνεια ή στη συνεχή φάση όπως για παράδειγμα οξείδωση λιπών ή πρωτεϊνών ή πολυσακχαριτών. Τα γαλακτώματα

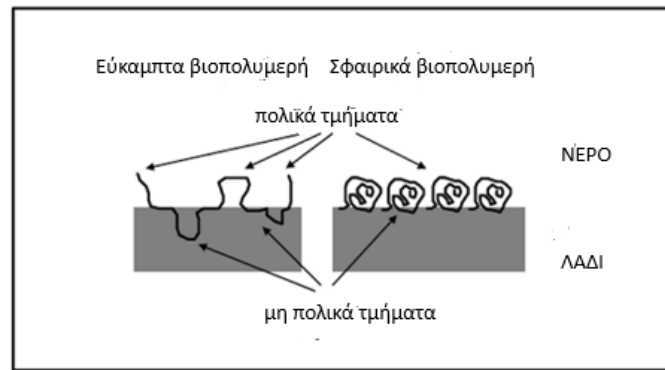
τροφίμων είναι γενικά πιο περίπλοκα από τα απλά συστήματα τριών συστατικών (λάδι, νερό και γαλακτωματοποιητής). Η υδατική φάση μπορεί να περιέχει ποικιλία υδατοδιαλυτών συστατικών όπως σάκχαρα, άλατα, οξέα, βάσεις, διαλύτες, αλκοόλες, επιφανειοδραστικές ουσίες, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες και συντηρητικά. Η φάση λαδιού περιέχει λιποδιαλυτά συστατικά όπως γλυκερόλες, ελεύθερα λιπαρά οξέα, στερόλες, βιταμίνες, σταθμιστικούς παράγοντες, χρώματα, αρωματικές ουσίες και συντηρητικά. Η διεπιφανειακή περιοχή μπορεί να περιέχει μίγμα επιφανειοδραστικών ουσιών όπως, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, φωσφολιπίδια και συγκροτήματα μορίων. Τα συστατικά αυτά μπορεί να σχηματίζουν δομές διαφορετικών τύπων με τις περιοχές νερού, του λαδιού και διεπιφάνειας. Επίσης τα τρόφιμα υφίστανται πολλές μεταβολές θερμοκρασίας, πίεσης και μηχανικής ανακίνησης κατά την παραγωγή, αποθήκευση και διακίνησή τους που μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στις ιδιότητές τους (McClements, 2016).

2.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

A) Η συγκέντρωση των σταγονιδίων είναι καθοριστικός παράγοντας για το κόστος, την εμφάνιση, την υφή, τη γεύση, την σταθερότητα και τις διατροφικές ιδιότητες. Περιγράφεται με τον όρο, κλάσμα όγκου της διασπαρμένης φάσης και ισούται με τον όγκο των σταγονιδίων δια του συνολικού όγκου του γαλακτώματος: $\phi = V_D / V_E$. Σε κάποιες περιπτώσεις διευκολύνει και η χρήση του κλάσματος μάζας της διασπαρμένης φάσης που ισούται με την μάζα των σταγονιδίων δια της ολικής μάζας του γαλακτώματος: $\phi_m = m_D / m_E$. Πολλές από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων στα τρόφιμα καθορίζονται από το μέγεθος των σωματιδίων, όπως η διάρκεια ζωής, η εμφάνιση, η υφή, το γευστικό προφίλ και οι βιολογικές διαδικασίες (McClements, 2016).

B) Ιδιότητες διεπιφάνειας σταγονιδίων: Τα σταγονίδια έχουν μια στενή περιοχή διεπιφάνειας (1 – 50 nm) από την οποία περιβάλλεται κάθε σταγονίδιο του γαλακτώματος και αποτελείται από ένα μίγμα ελαίου, νερού και μορίων γαλακτωματοποιητή. Ενδεχομένως περιέχει και άλλα είδη μορίων και ιόντων όπως ιόντα μετάλλων, υδρόφιλους ηλεκτρολύτες, αμφίφιλα συστατικά. Η διεπιφανειακή περιοχή αποτελεί σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου του γαλακτώματος, μόνο στην περίπτωση που η διάμετρος των σταγονιδίων είναι μικρότερη από 1 μm. Η περιοχή της διεπιφάνειας έχει αποφασιστική επίδραση στις πιο σημαντικές φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων στα τρόφιμα. Είναι

σημαντικό να αποσαφηνιστεί η επίδραση που έχει η σύνθεση, η δομή, το πάχος, η ρεολογία και το φορτίο της διεπιφάνειας στις φυσικοχημικές, οργανοληπτικές και διατροφικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων. Οι ιδιότητες της περιοχής της διεπιφάνειας οφείλονται στο είδος, την περιεκτικότητα και τις αλληλεπιδράσεις κάθε επιφανειοδραστικής ουσίας που υπάρχει σε αυτή, καθώς επίσης επηρεάζονται και από φαινόμενα που γίνονται τόσο κατά τη διάρκεια, όσο και αφού το γαλάκτωμα σχηματιστεί, όπως είναι η συμπλοκοποίηση ή η ανταγωνιστική προσρόφηση. Το διεπιφανειακό φορτίο επηρεάζει τις αλληλεπιδράσεις των σταγονιδίων με άλλα φορτισμένα μόρια και την ικανότητά τους να αντισταθούν στη συνένωση. Η σταθερότητα του γαλακτώματος απέναντι στο βαρυτικό διαχωρισμό, τη συνένωση και την κροκίδωση αλλά και ο ρυθμός εισροής και εκροής άλλων μορίων στα σταγονίδια επηρεάζεται από το πάχος και τη ρεολογία της διεπιφάνειας (McClements, 2016).



Εικόνα 20. Η δομή των μορίων του γαλακτωματοποιητή και οι αλληλεπιδράσεις τους με την διεπιφάνεια, καθορίζουν τη δομή και τις ιδιότητες της διεπιφάνειας των σταγονιδίων (McClements, 2005).

Γ) Το φορτίο των σταγονιδίων επηρεάζει και αυτό τις ιδιότητες που προαναφέρθηκαν. Το φορτίο αυτό αποκτήθηκε με απορρόφηση μορίων γαλακτωματοποιητή που έχουν ιονιστεί ή μπορούν να ιονιστούν και εξαρτάται και από το pH της υδατικής φάσης. Το φορτίο καθορίζει την φύση των αλληλεπιδράσεων των σταγονιδίων με άλλες φορτισμένες οντότητες ή την συμπεριφορά τους σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (π.χ. ηλεκτροφόρηση). Σε πολλά γαλακτώματα τροφίμων, χρησιμοποιούνται ιοντικοί γαλακτωματοποιητές που μέσω της προσρόφησης τους στην επιφάνεια, προκαλούν ηλεκτροστατικές απώσεις που αποτρέπουν τη συνένωση των σταγονιδίων. Επομένως η πρόβλεψη, ο έλεγχος και η μέτρηση του φορτίου των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα είναι σημαντικά για την επιστήμη τροφίμων. Η πολυπλοκότητα της σύστασης των

περισσότερων γαλακτωμάτων δυσκολεύει τον ακριβή υπολογισμό του φορτίου των σταγονιδίων (McClements, 2016).

Δ) Οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις επηρεάζουν την ποιότητα των προϊόντων με γαλακτώματα. Η πητικότητα μιας γεύσης μειώνεται όταν έλκεται ηλεκτροστατικά στην επιφάνεια ενός σταγονιδίου και αυτό αλλάζει το γευστικό προφίλ ενός τροφίμου. Η τάση των σταγονιδίων λαδιού προς την οξείδωση των λιπών εξαρτάται από το αν θα υπάρξει ηλεκτροστατική έλξη του καταλύτη προς την επιφάνεια του σταγονιδίου (McClements, 2016).

Ε) Φυσική κατάσταση σταγονιδίων: Σε ένα συμβατικό γαλάκτωμα τροφίμου, η φυσική κατάσταση των σταγονιδίων της διεσπαρμένης φάσης είναι υγρή. Όμως σε κάποια συστήματα γαλακτωμάτων είναι σχεδόν ή εξ ολοκλήρου στερεή, όπως σε ένα γαλάκτωμα (o/w) όπου τα σταγονίδια ελαίου κρυσταλλοποιούνται, αν η θερμοκρασία μειωθεί σημαντικά κάτω από το σημείο τήξης της λιπαρής φάσης. Η θερμοκρασία κρυστάλλωσης ενός γαλακτωματοποιημένου ελαίου, μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία ενός «χύμα» ελαίου. Επιπρόσθετα, καθώς ο όγκος που καταλαμβάνουν τα σταγονίδια ελαίου στο γαλάκτωμα είναι περιορισμένος, οι κρύσταλλοι που σχηματίζουν, έχουν διαφορετική φύση από τους κρυστάλλους που σχηματίζει ένα «χύμα» έλαιο. Μέσω της επιλογής του ελαίου, της θερμοκρασίας και του μεγέθους των σταγονιδίων, μπορεί να ελεγχθεί η περιεκτικότητα, η φύση και η θέση των κρυστάλλων μέσα στα σταγονίδια ελαίου σε ένα γαλάκτωμα (o/w). Η παραγωγή μαργαρίνης, βουτύρου, σαντιγύ και παγωτού βασίζεται σε μια ελεγχόμενη αποσταθεροποίηση ενός γαλακτώματος (o/w) που μέρος των σταγονιδίων είναι κρυσταλλικό. Η κρυσταλλοποίηση των σταγονιδίων λίπους στο γάλα επηρεάζει την σταθερότητα της κρέμας σε θερμοκρασιακές αναστροφές. Η αίσθηση δροσιάς που προκύπτει όταν ένας κρύσταλλος λίπους λιώνει στο στόμα συμβάλλει στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά πολλών τροφικών προϊόντων. Η γνώση των παραγόντων που επιδρούν στην κρυσταλλοποίηση και στην τήξη των γαλακτωματοποιημένων ουσιών καθώς και η επίδραση των αλλαγών φάσεων των σταγονιδίων έχουν μεγάλη σημασία για την επιστήμη των τροφίμων (McClements, 2016).

Ζ) Ρεολογία γαλακτωμάτων: Η σύσταση, η δομή και οι αλληλεπιδράσεις των σταγονιδίων καθορίζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων. Καθώς η συγκέντρωση των σταγονιδίων αρχικά αυξάνεται σταδιακά και στη συνέχεια απότομα,

τα σταγονίδια «πακετάρονται πιο στενά» και το ιξώδες των γαλακτωμάτων αυξάνεται. Όταν η συγκέντρωση των σταγονιδίων οδηγήσει στο «στενό πακετάρισμα», τα γαλακτώματα αποκτούν χαρακτηριστικά στερεού υλικού, όπως είναι η ιξωδοελαστικότητα και η πλαστικότητα. Οι αλληλεπιδράσεις των σταγονιδίων επηρεάζουν την τιμή της συγκέντρωσης αυτής. Σε ισχυρές ελκτικές και απωστικές αλληλεπιδράσεις η συγκέντρωση «στενού πακεταρίσματος» είναι χαμηλή. Όταν σχεδιάζονται τα προϊόντα τροφίμων είναι απαραίτητο να διερευνώνται τα χαρακτηριστικά των σταγονιδίων, καθώς έχουν σημαντική επίδραση στη ρεολογία τους. Τα τρόφιμα με πολύ χαμηλό ιξώδες (π.χ. ροφήματα) δεν επηρεάζονται από την παρουσία των σταγονιδίων. Όμως τα τρόφιμα με υψηλό ιξώδες (π.χ. dressings, dips, επιδόρπια) επηρεάζονται σημαντικά από τα σταγονίδια (McClements, 2016).

Η) Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων περιέχουν δεσμούς van der Waals, ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις και μπορούν να οδηγήσουν σε ευρείες μεταβολές στην σταθερότητα, στη ρεολογία, στην εμφάνιση και την γεύση αλλά και την πορεία εντός του γαστρεντερικού συστήματος των γαλακτωμάτων τροφίμων.

Συμπερασματικά, ένα γαλάκτωμα τροφίμου αποτελείται από ένα σύνθετο μίγμα μορίων που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας την φάση λαδιού, την υδάτινη φάση και την διεπιφάνεια αλλά και με άλλες δομές που είναι κατανεμημένες στις φάσεις, όπως τα επιφανειοδραστικά μικκύλια, τμήματα πολυμερών, φυσαλίδες αέρα, κρύσταλλοι λιπών ή κρύσταλλοι πάγου. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από αυτές των συστατικών τους. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση με τα αισθητήρια όργανα του ανθρώπινου σώματος. Οι αντιδράσεις ανθρώπινου οργανισμού καθορίζονται από την φυσιολογία του και η διαχείριση των ερεθισμάτων υπόκειται σε επεξεργασία από τον εγκέφαλο. Τελικά η αντίληψη του κάθε ατόμου σχετικά με ένα φαγητό καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το υπόβαθρο και τις εμπειρίες του (McClements, 2016).

2.4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων μπορούν να εκτιμηθούν με διάφορες φυσικοχημικές μεθόδους. Οι παράμετροι που έχουν διερευνηθεί περισσότερο, οι οποίες σχετίζονται με την σταθερότητα των γαλακτωμάτων, είναι το μέγεθος των

σωματιδίων, η κατανομή μεγεθών, το ζ-δυναμικό και το ιζώδες. Το μέγεθος των σωματιδίων συνδέεται με την επιδεκτικότητα ενός γαλακτώματος σε βαρυτικό διαχωρισμό. Τα γαλακτώματα που περιέχουν μεγάλα σωματίδια είναι επιρρεπή σε βαρυτικό διαχωρισμό, ενώ εκείνα με διάμετρο μικρότερη των 50 nm είναι πολύ σταθερά (Chung et al., 2018).

Η πιο κοινή μέθοδος καθορισμού του μεγέθους των σωματιδίων είναι η Dynamic Light Scattering (DLS). Μια μονοχρωματική ακτινοβολία εστιάζεται στο δείγμα. Η ένταση του σκεδασμένου φωτός με το χρόνο διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων καθώς τα μεγαλύτερα σταγονίδια κινούνται πιο αργά από τα μικρότερα λόγω της κίνησης Brown. Από τη διακύμανση της έντασης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, υπολογίζεται ένας συντελεστής συσχέτισης, από τον οποίο καθορίζεται η υδροδυναμική διάμετρος των σωματιδίων με χρήση της θεωρίας Stokes–Einstein. Η μικρής γωνίας σκέδαση ακτίνων X (Small-angle X-ray Scattering, SAXS) είναι μια ισχυρή, μη βλαπτική μέθοδος για τον καθορισμό του μεγέθους ενός αντικειμένου, την κατανομή μεγέθους, το σχήμα, και τη δομή της επιφάνειας. Βασίζεται σε ένα πρότυπο σκέδασης ακτίνων X, σε μικρές γωνίες (0.1° μέχρι 10°), για να διερευνήσει δομικά χαρακτηριστικά σε μια κλίμακα 1-100 nm. Είναι ιδανική μέθοδος για τη μελέτη στερεών, υγρών ή δειγμάτων γέλης. Τα μακρομόρια που μπορούν να μελετηθούν διαθέτουν ένα εύρος μεγέθους από μικροσκοπικά πεπτίδια ή αποσπάσματα νουκλεϊκών οξέων μέχρι συμπλέγματα με μεγέθη σε εύρος των Giga Daltons ή ακόμα και ολόκληροι ιοί.

Η πολλαπλών γωνιών σκέδαση ακτίνων Laser, είναι μια τεχνική μέτρησης για μεγαλύτερα σωματίδια. Σύμφωνα με τη θεωρία Mie, το σκεδαζόμενο φως, σκεδάζεται ανισοτροπικά και συγκεντρώνεται αυξανόμενα προς τα εμπρός καθώς το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνεται. Το πρότυπο σκέδασης (ένταση σκεδαζόμενου φωτός έναντι γωνίας σκέδασης) εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, τη δομή και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας όταν ανιχνευτές τοποθετούνται σε διάφορες γωνίες σε σχέση με την αρχική διεύθυνση της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων υπολογίζεται με χρήση λογισμικού που βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο Mie και μπορεί να συγκρίνει το παρατηρούμενο πρότυπο σκέδασης με το θεωρητικά αναμενόμενο, για συγκεκριμένο μέγεθος σωματιδίων και κατανομή. Συνήθως συνδυάζεται με μια τεχνική διαχωρισμού σωματιδίων, όπως η χρωματογραφία αποκλεισμού μεγέθους.

Η ηλεκτρονική μακροσκοπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση παρατήρηση και αξιολόγηση υλικών νανοκλίμακας. Επιπρόσθετα τα μεγέθη των σωματιδίων μπορούν να μετρηθούν και μπορεί να αποκτηθεί λεπτομερειακή πληροφορία σχετικά με τη μορφολογία και μια καθαρή εικόνα των φαινομένων συσσωμάτωσης και συνένωσης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι Transmission Electron Microscopy (TEM), και συχνότερα, Cryo-TEM, Scanning Electron Microscopy (SEM), ή Atomic Force Microscopy (AFM). Τα πλεονεκτήματα αυτών των τεχνικών είναι αναμφίβολα, η μεγαλύτερη ανάλυση, αλλά απαιτούν πρόσβαση σε ακριβό εξοπλισμό και κοπιώδη προετοιμασία δείγματος. Η οπτική μικροσκοπία είναι επίσης μια γρήγορη, μη επεμβατική τεχνική για μια πρώτη εκτίμηση του μεγέθους και της κατανομής των σωματιδίων σε ένα γαλάκτωμα. Συνήθως συνδυάζεται με πιο στοχευμένες στρατηγικές.

Η Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), είναι μια φασματοσκοπική μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των γαλακτωμάτων. Μπορεί να παρέχει μοριακές πληροφορίες σχετικά με την σύσταση και την σταθερότητα των γαλακτωμάτων, όπως και για τις μοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών συστατικών. Οι διαδικασίες γαλακτωματοποίησης, οξείδωσης και διαχωρισμού φάσης μπορεί να καταγράφονται αν και η φασματική ανάλυση αλλάζει. Είναι μια γρήγορη, μη επεμβατική μέθοδος που είναι πολύτιμη για τον έλεγχο ποιότητας και τη μελέτη της σύνθεσης σε διαφορετικά γαλακτώματα τροφίμων.

Η μέτρηση της απορροφούμενης υπεριώδους – ορατής ακτινοβολίας από ένα γαλάκτωμα είναι ενδεικτική του μεγέθους των σωματιδίων. Όσο μικρότερα τα σωματίδια, τόσο λιγότερη υπεριώδης – ορατή ακτινοβολία απορροφάται. Η μελέτη των Sanchez-Ortega et al. επιβεβαίωσε ότι το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει σημαντικά την διαφάνεια των γαλακτωμάτων. Γαλακτώματα με σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 100 nm ήταν πιο διαφανή, ενώ αυτά που είχαν μεγαλύτερα σωματίδια (>100 nm) ήταν πιο αδιαφανή και λιγότερο σταθερά. Επίσης, μεταβολές στην θολότητα ή τη διαφάνεια εξαιτίας φαινομένων συνένωσης και συσσωμάτωσης, αποτελούν ενδείξεις ότι το γαλάκτωμα είναι αποσταθεροποιημένο. Η Ηλεκτρονική Παραμαγνητική Συντονιστική Φασματοσκοπία (Electron Paramagnetic Resonance, EPR) είναι μια άλλη ισχυρή τεχνική για τον φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των γαλακτωμάτων. Μπορεί να δια φωτίσει ζητήματα της μοριακής δυναμικής, της πολωσιμότητας και περιβαλλοντικών μικροαλλαγών. Η EPR, εντοπίζει ασύζευκτα

ηλεκτρόνια σε spin probes και ελεύθερες ρίζες και μπορεί να εκτιμήσει την σταθερότητα του γαλακτώματος και την συμπεριφορά του επιφανειοδραστικού. Έχει υψηλή ευαισθησία πράγμα που την καθιστά πολύτιμο εργαλείο για τη μελέτη της σταθερότητας των γαλακτωμάτων σε σκευάσματα τροφίμων. Οι συσκευές DLS, μπορούν να καθορίσουν τον δείκτη πολυδιασποράς (PDI) που αντιπροσωπεύει την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων. Μια ευρεία κατανομή μεγέθους σωματιδίων διευκολύνει την ωρίμανση κατά Ostwald η οποία καταλήγει σε αύξηση της διαμέτρου των σωματιδίων με το χρόνο. Επιπρόσθετα δε, η ετερογένεια και η πολυδιασπορά μπορεί να οδηγήσουν σε κροκίδωση ή συνένωση. Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος που αντικατοπτρίζει την σταθερότητα των γαλακτωμάτων είναι το ζ-δυναμικό. Αυτό είναι μέτρο του ηλεκτρικού δυναμικού στο υδροδυναμικό επίπεδο διάτμησης, που περιλαμβάνει τα νανοσωμάτια και ένα στρώμα αντίθετων ιόντων προσκολλημένων στην επιφάνειά του. Το ζ-δυναμικό καθορίζει την ηλεκτροστατική άπωση μεταξύ των σωματιδίων, που επηρεάζει άμεσα την αντίσταση του γαλακτώματος στην συσσωμάτωση και συνένωση. Το ζ-δυναμικό μπορεί να είναι είτε θετικό ή αρνητικό, ανάλογα με το επιφανειακό φορτίο των σωματιδίων. Υψηλές απόλυτες τιμές του ζ-δυναμικού αποτελούν ένδειξη ισχυρότερης ηλεκτροστατικής άπωσης μεταξύ των σωματιδίων. Γενικά συστήματα με ζ-δυναμικό $\geq +30$ mV ή ≤ -30 mV, θεωρούνται σταθερά ενώ αυτά με ενδιάμεσες τιμές στο εύρος των ± 30 mV, είναι πιο επιρρεπή σε αστάθεια (McClements, 2015).

Το ιξώδες των γαλακτωμάτων είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος. Το αυξημένο ιξώδες συνεισφέρει στην σταθερότητα του τελικού προϊόντος παρεμποδίζοντας την κινητικότητα των σωματιδίων οπότε καθυστερεί ο βαρυτικός διαχωρισμός, συσσωμάτωση ή συνένωση. Οι σταθεροποιητές ή ουσίες που λειτουργούν ως παράγοντες πήξης, συχνά προστίθενται για να αυξήσουν το ιξώδες της συνεχούς φάσης. Η χρήση τους μειώνει το ρυθμό σύγκρουσης των σωματιδίων και την καθίζησή τους. Επίσης απαιτούνται ρεολογικές μετρήσεις ώστε να προβλεφθεί η συμπεριφορά των γαλακτωμάτων κατά την πορεία της επεξεργασίας τους (ροή μέσω σωλήνων, ευκολία ανάμιξης), το πακετάρισμα ή την τελική χρήση οπότε η επιλογή του πελάτη ενδόμυχα σχετίζεται με την υφή του προϊόντος. Επιπρόσθετα, τα οπτικά χαρακτηριστικά του γαλακτώματος διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Η αδιαφάνεια ενός νανογαλακτώματος καθορίζεται από τη σκέδαση του φωτός από τα ελαιώδη σωματίδια. Η σκέδαση του φωτός εξαρτάται από το μέγεθος των σταγονιδίων σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, και το φαινόμενο

είναι πιο έντονο όταν η διάμετρος των σταγονιδίων ισούται με το μήκος κύματος του φωτός. Τα μεγέθη των σταγονιδίων στα νανογαλακτώματα κυμαίνονται από 20 μέχρι 200 nm, επιτρέποντας ένα μεγάλο εύρος στην εμφάνισή τους από διάφανο (μικρότερου μεγέθους σταγονίδια) μέχρι αδιάφανο (μεγαλύτερου μεγέθους σταγονίδια). Ο συνολικός αριθμός, το μέγεθος, οι ιδιότητες και η τοποθέτηση των σταγονιδίων σε ένα νανογαλάκτωμα καθορίζουν την τελική του εμφάνιση, όπως και κάθε συστατικό που διαδίδει ή απορροφά το φως.

Πίνακας 5: Μέθοδοι προσδιορισμού φυσικοχημικών χαρακτηριστικών γαλακτωμάτων (Karolos, et al., 2025).

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΣΚΟΠΟΣ
DLS	Μέγεθος σωματιδίων και δείκτης πολυδιασποράς
Μικρής γωνίας σκέδαση ακτίνων X	Δομή μικκυλίων
ζ-δυναμικό	Κινητικότητα ηλεκτροφόρησης
SEM	Μορφολογία σωματιδίων
TEM	Μορφολογία σωματιδίων
Οπτική μικροσκοπία	Μορφολογία γαλακτώματος
FT-IR	Χημική δομή και διαμοριακές αλληλεπιδράσεις
UV-VIS	Θολότητα (φαινόμενα συνένωσης και συσσωμάτωσης) ή διαφάνεια
Ηλεκτρονική παραμαγνητική συντονιστική φασματοσκοπία	Διεπιφανειακές ιδιότητες
Σκέδαση ακτίνων Laser πολλαπλών γωνιών	Μέση μάζα, μέση τιμή τετραγωνικής ρίζας μοριακής μάζας, τετράγωνο ακτίνας
Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας	Πληροφορίες για τη συνεχή φάση σε μικρογαλακτώματα w/o
Ρεολογική ανάλυση	Ιξώδες

ΜΕΡΟΣ Β: Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

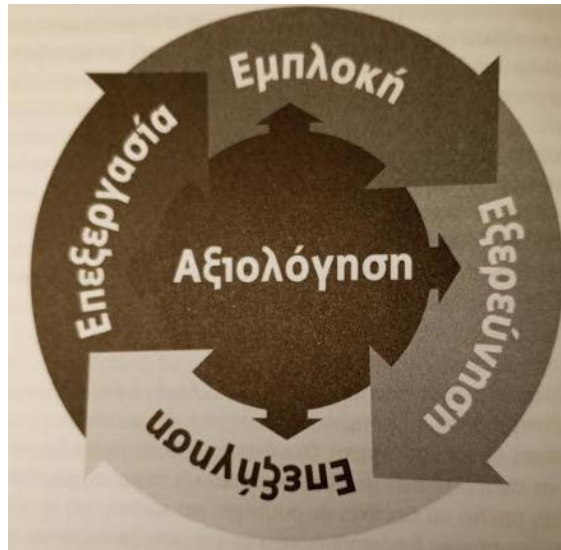
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Η διερευνητική μάθηση ως εκπαιδευτική προσέγγιση των Φυσικών Επιστημών άρχισε να εφαρμόζεται τον τελευταίο αιώνα. Μέχρι τότε υποστηριζόταν η παραδοσιακή διδασκαλία σύμφωνα με την οποία, καθήκον των μαθητών ήταν η αποκόμιση του συνόλου της γνώσης που περιεχόταν στην διδασκαλία. Το μοντέλο αυτό αμφισβητήθηκε για την υπερβολική βαρύτητα που έδινε στη συσσώρευση της πληροφορίας και όχι στην θεώρηση του επιστημονικού τρόπου σκέψης και της επιστημονικής στάσης. Ο Dewey (1910) ανέδειξε, πέρα από το σύνολο των γνώσεων, τις διαδικασίες απόκτησης των γνώσεων αυτών, ως σημαντική συνιστώσα της επιστήμης.

Αργότερα, ο Schwab (1960) συνέτεινε καθοριστικά προς την διερευνητική προσέγγιση, θεωρώντας ότι κατά τη διδασκαλία της, η επιστήμη πρέπει να προσεγγίζεται ως σύνολο εννοιών και δομών που επανεξετάζονται και αναπροσαρμόζονται καθώς νέα δεδομένα αναδύονται. Επιδίωξε την ανάδειξη του εργαστηρίου φυσικών επιστημών ως σημαντικό χώρο διεξαγωγής της επιστημονικής διαδικασίας. Η επεξεργασία ενός θέματος ξεκινά από τους μαθητές στο εργαστήριο και μετά ακολουθεί η οικοδόμηση και επεξήγηση των σχετικών επιστημονικών εννοιών και αρχών. Μάλιστα δε, ο Schwab περιέγραψε τρεις πιθανές προτάσεις για να προσεγγιστεί η παραπάνω πορεία, με την διερεύνηση να εξελίσσεται σταδιακά από καθοδηγούμενη σε ανοικτή.

Με τη συμβολή των Bruner, Piaget κ.α., αναπτύχθηκαν τις επόμενες δεκαετίες αναλυτικά προγράμματα και διδακτικά μοντέλα που βασίζονταν στις ιδέες των μαθητών και στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών με την συμμετοχή των μαθητών σε εργαστηριακές και διερευνητικές διαδικασίες.

Σύμφωνα με το National Research Council (NRC 2000) η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας συνίσταται σε 5 στάδια τα οποία διαδέχονται το ένα το άλλο, χωρίς να αποκλείεται η επιστροφή σε κάποιο προγενέστερο στάδιο, αν χρειαστεί σε κάποια φάση της διερεύνησης.



Εικόνα 21: Διερευνητικό μοντέλο διδασκαλίας – Μοντέλο των 5E: Engage, Explore, Experiment, Explain, Elaborate, Evaluate (Bybee et al. 2006).

Στο πρώτο στάδιο της εμπλοκής, είναι σημαντικός ο ρόλος του εκπαιδευτικού στην προσέλκυση του ενδιαφέροντος των μαθητών ως προς θέμα που θα μελετηθεί, αλλά και η συμβολή του στην διαμόρφωση του σχετικού ερωτήματος. Είναι σημαντικό οι ερωτήσεις τύπου «γιατί», που συνηθίζουν να διατυπώνουν οι μαθητές, να μετατραπούν σε ερωτήσεις τύπου, «πως», και έτσι να οδηγηθούν στη φάση της διερεύνησης. Ερωτήματα με ενδιαφέρον και με σωστή διατύπωση, που είναι δυνατόν να απαντηθούν μέσω εύκολης πρόσβασης σε γνώσεις και διαδικασίες με επίπεδο ανάλογο με το στάδιο ανάπτυξης των μαθητών, είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για μια επιτυχή έρευνα.

Στο επόμενο στάδιο της διατύπωσης υποθέσεων και του πειραματισμού, οι μαθητές προχωρούν στη διατύπωση κάποιας υπόθεσης σχετικής με το ερώτημά τους, βασιζόμενοι σε δικά τους εμπειρικά δεδομένα που συλλέγουν μέσω παρατήρησης κάποιου φαινομένου στο φυσικό περιβάλλον ή στο εργαστήριο ή από το διδακτικό τους βοήθημα, το διαδίκτυο ή τον εκπαιδευτικό τους. Στη συνέχεια, καθοδηγούμενοι περισσότερο ή λιγότερο από τον εκπαιδευτικό τους σχεδιάζουν και υλοποιούν την πειραματική διαδικασία, με βάση την οποία θα γίνει ο έλεγχος των υποθέσεών τους. Ακολουθεί το στάδιο της επεξήγησης όπου οι μαθητές μπαίνουν σε διαδικασία ελέγχου των αρχικών τους υποθέσεων. Οικοδομούν νέες ιδέες βασιζόμενοι στις προϋπάρχουσες γνώσεις τους που είναι σε ισχύ ή αναδομούν τις εναλλακτικές τους ιδέες. Στη συνέχεια οι μαθητές επεξεργάζονται και αξιολογούν τα αποτελέσματα, συγκρίνοντάς τα με αυτά των συμμαθητών τους ή με τις προτάσεις του εκπαιδευτικού και μπαίνουν σε μια

διαδικασία αναστοχασμού. Η συμβολή του εκπαιδευτικού είναι καθοριστική στο να υπάρξει εναρμόνιση των εξηγήσεων αυτών με την υπάρχουσα επιστημονική γνώση. Στο τελευταίο στάδιο, οι μαθητές επικοινωνούν τα αποτελέσματά τους, περιγράφοντας με σαφήνεια τα ερευνητικά τους στάδια και έτσι δίνεται η δυνατότητα στους συμμαθητές τους να εκφράσουν ερωτήματα, να εξετάσουν την διαδικασία, να βρουν ενδεχόμενα λάθη και να αντιπροτείνουν διαφορετικές εξηγήσεις. Ανάλογα με το βαθμό καθοδήγησης από τον εκπαιδευτικό προς τους μαθητές η διδασκαλία μέσω διερεύνησης χαρακτηρίζεται κλιμακούμενα ως εξής (Κουμαράς, 2017): Όταν ο εκπαιδευτικός παρέχει την μέγιστη καθοδήγηση προς τους μαθητές, παρέχοντας το ίδιο το ερώτημα, τις οδηγίες για την έρευνά τους και τα απαραίτητα υλικά, η διερεύνηση χαρακτηρίζεται ως επιβεβαιωτική και επιλέγεται προς ενίσχυση ήδη διδαγμένων γνώσεων.

Κατά την καθοδηγούμενη ανακάλυψη ή καθοδηγούμενη διερεύνηση, σε σχέση με την επιβεβαιωτική διερεύνηση, η διαφοροποίηση συνίσταται στο γεγονός ότι οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν σε σχέση με κάτι που δεν έχουν προηγουμένως διδαχθεί. Στην προσανατολισμένη διερεύνηση, ο εκπαιδευτικός θέτει την ερώτηση και στη συνέχεια οι μαθητές επιλέγουν μόνοι τους την διαδικασία που θα ακολουθήσουν και τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουν.

Τέλος κατά την ανοιχτή διερεύνηση οι μαθητές που έχουν εξοικείωση με τη διερευνητική μέθοδο, διαμορφώνουν το ερώτημα και την έρευνα και επιλέγουν τα υλικά. Ο εκπαιδευτικός επιλέγει το βαθμό καθοδήγησης και εμπλοκής του ανάλογα με το αν στοχεύει στην αφομοίωση μιας επιστημονικής έννοιας από τους μαθητές ή στην απόκτηση κάποιων ικανοτήτων διερεύνησης, ή στην κατανόηση της ίδιας της φύσης της επιστημονικής διερεύνησης ή σε κάποια από αυτά μαζί (Σκορδούλης et al., 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

2.1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ: ΓΕΝΙΚΑ.

Ως προς το ζήτημα των διδακτικών στόχων, η ταξινόμηση Klopfer(1971) θέτει στόχους που αφορούν τον γνωστικό, τον συναισθηματικό, τον ψυχοκινητικό τομέα, όπως επίσης και την μεθοδολογία των Φυσικών Επιστημών. Αναλυτικότερα, η στόχευση αφορά το να γνωρίζουν οι μαθητές συγκεκριμένα γεγονότα, επιστημονική ορολογία, έννοιες, νόμους και θεωρίες, το πως εξελίσσεται ένα φαινόμενο, αλλά και σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τους. Ταυτόχρονα, πρέπει να είναι σε θέση να παρατηρούν και να περιγράφουν ένα φαινόμενο, να επιλέγουν το κατάλληλο όργανο μέτρησης και να μετράνε φυσικά μεγέθη. Να εντοπίζουν ένα πρόβλημα και να αναζητούν τρόπους επίλυσής του. Να ερμηνεύουν τα δεδομένα και να γενικεύουν, να αναπτύσσουν, ελέγχουν και τροποποιούν κάποιο θεωρητικό μοντέλο και να εφαρμόζουν γνώσεις και μεθόδους. Επιπρόσθετα πρέπει να κατακτήσουν και χειριστικές δεξιότητες π.χ. κάποιων οργάνων του εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών, να στέκονται θετικά απέναντι στην επιστήμη και στην επιστημονική μεθοδολογία.

Επίσης, πρέπει οι μαθητές να αναγνωρίζουν την σύνδεση των επιστημονικών επιτευγμάτων με την κοινωνία και το περιβάλλον, τη σχέση επιστήμης και τεχνολογίας, να είναι σε θέση να ασκούν κριτική ως προς κάποιες σύγχρονες επιστημονικές εφαρμογές, αλλά και να περιγράφουν την ιστορική εξέλιξη κάποιων επιστημονικών ιδεών (Σκορδούλης et al., 2021).

2.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

A. ΤΙΤΛΟΣ

Γνωριμία με τα γαλακτώματα, τη γαλακτωματοποίηση και κάποιες εφαρμογές τους που συναντώνται στην καθημερινότητα των μαθητών.

B. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ: Διερεύνηση και καθοδηγούμενη ανακάλυψη

Γ. ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΤΑΞΗ ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΑΠΕΥΘΥΝΕΤΑΙ

Χημεία: Λίπη, έλαια, σαπούνια, απορρυπαντικά, διαμοριακές δυνάμεις. Απευθύνεται σε μαθητές Γ' λυκείου των κατευθύνσεων θετικής και υγείας.

Δ. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ

Το μάθημα γίνεται στο εργαστήριο Φυσικών Επιστημών όπου οι μαθητές εργάζονται σε ομάδες των 4 ατόμων με τα απαραίτητα όργανα. Η αίθουσα διαθέτει διαδραστικό πίνακα. Θα δοθούν 2-3 φύλλα εργασίας, που αποτελούν τον πυρήνα του σεναρίου.

E.ΣΤΟΧΟΙ

E1.ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά το τέλος του μαθήματος οι μαθητές θα είναι σε θέση:

1. Να ορίσουν τις έννοιες: γαλάκτωμα -γαλακτωματοποιητής-γαλακτωματοποίηση.
2. Να εξηγήσουν -περιγράψουν με βάση τις διαμοριακές δυνάμεις που αναπτύσσονται, τη δημιουργία ενός γαλακτώματος.
3. Να προβλέψουν, αν μια ουσία είναι κατάλληλη για το ρόλο του γαλακτωματοποιητή.
4. Να εξηγήσουν τον μηχανισμό απομάκρυνσης των λιπαρών λεκέδων με τη χρήση σαπουνιού.
5. Να είναι σε θέση να προβλέψουν αν ένα προϊόν περιέχει λίπος ή όχι, με κριτήριο την ενδεχόμενη γαλακτωματοποίησή του.
6. Να είναι σε θέση να παρασκευάσουν ένα απλό γαλάκτωμα στο εργαστήριο Φυσικών Επιστημών.
7. Να συνδέσουν τις γνώσεις που απέκτησαν για τα γαλακτώματα και την γαλακτωματοποίηση με προϊόντα και παρασκευές ευρείας καθημερινής χρήσης.
8. Να εξοικειωθούν με τη χρήση ορισμένων οργάνων του εργαστηρίου Χημείας.

Ε2. ΓΕΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

1. Να επωφεληθούν οι μαθητές την ομαδική συνεργασία.
2. Να εξοικειωθούν οι μαθητές με τη συλλογή δεδομένων, ανάλυση, σύνδεση και σύνθεση των ευρημάτων από τα σχολικά εγχειρίδια Χημείας του Λυκείου και το διαδίκτυο.
3. Να αποκτήσουν την ικανότητα αξιολόγησης των πληροφοριών, ως προς τη χρησιμότητά τους.
4. Να αυτενεργήσουν και να αναπτύξουν αυτή τη στάση.
5. Να αποκτήσουν θετική στάση απέναντι στον επιστημονικό τρόπο σκέψης και εργασίας.
6. Να εξοικειωθούν με εργαστηριακές τεχνικές και να προσεγγίσουν την πειραματική όψη της Χημείας που ενδεχομένως έχει παραμεληθεί κάτω από το βάρος της προετοιμασίας για τις επικείμενες εξετάσεις.

ΣΤ.ΔΙΑΡΚΕΙΑ

Δύο (2) διδακτικές ώρες για την εφαρμογή των 2 φύλλων εργασίας στην τάξη

1^η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

1.Φάση εμπλοκής και διατύπωσης υπόθεσης: Μη αναμίξιμα υγρά και «ανάμιξη» τους με τη διαδικασία της γαλακτωματοποίησης

1.1 Εξηγήστε γιατί νερό και λάδι δεν αναμιγνύονται, ανατρέχοντας στο κεφάλαιο Διαμοριακές δυνάμεις του σχολικού βιβλίου Χημείας Γ' Λυκείου κατευθύνσεων θετικής και υγείας

.....
.....

1.2 Αν σε κάποιο ποτήρι προσθέσουμε ίσες ποσότητες από νερό και λάδι και προκαλέσουμε έντονη ανάδευση, ενδεχομένως και με blender χειρός, θα γίνει δυνατόν οι δυο φάσεις να αναμιχθούν; Τι προβλέπετε;

.....
.....
.....

2.Φάση πειραματισμού και επεξήγησης

2.1 Σε ένα ποτήρι ζέσεως προσθέτουμε νερό μέχρι το 1/3 και άλλο 1/3 ελαιόλαδο. Τι παρατηρείτε;

.....
.....
.....

2.2 Στη συνέχεια, ανακατεύουμε το περιεχόμενο του ποτηριού με μια ράβδο, πολύ καλά. Τι παρατηρείτε αμέσως μετά;

.....
.....
.....

Τι παρατηρείτε μετά από 2-3 λεπτά;

.....
.....
.....

2.3 Στη συνέχεια προσθέστε λίγο κρεμοσάπουνο και ανακατέψτε πολύ καλά. Τι παρατηρείτε;

.....
.....

.....
.....
Πως εξηγείτε το φαινόμενο; Με ποιο τρόπο μπορεί να ξεπεράστηκαν τα εμπόδια που οφείλονται στις διαμοριακές δυνάμεις που περιγράψατε στην 1.1;

.....
.....
.....
3. Φάση περαιτέρω επεξήγησης

3.1 Ανατρέξτε στο σχολικό βιβλίο Χημεία Β' Λυκείου γενικής παιδείας, στο κεφάλαιο Λίπη-Έλαια-Σάπωνες και αφού μελετήσετε τη σχετική παράγραφο, προσπαθήστε να συμπληρώσετε τα παρακάτω:

α) Το φαινόμενο που γνωρίσαμε στην 2.3, λέγεται γαλακτωματοποίηση και περιγράφεται ως μια διαδικασία ανάμιξης δυο υγρών που δεν είναι αναμίξιμα, με αποτέλεσμα να προκύψει ένα σταθερό σύστημα που λέγεται

Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας τρίτης ουσίας που λέγεται γαλακτωματοποιητής και στο προηγούμενο πείραμα ήταν το

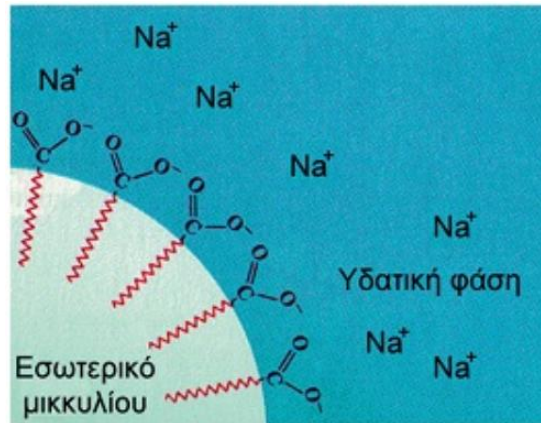
β) Ποια είναι η χημική σύνθεση ενός σαπουνιού; Τα σαπούνια είναι άλατα μακράς αλυσίδας καρβοξυλικών με ή και επομένως έχουν γενικό τύπο ή

Τα σαπούνια αναμιγνύονται - διαλύονται σχεδόν πλήρως με το νερό. Γιατί συμβαίνει αυτό;

.....
.....
.....
γ) Σε πολύ αραιά υδατικά τους διαλύματα, τα σαπούνια δίστανται ως εξής:

.....
.....
.....
δ) Όμως, γενικά ο μηχανισμός με τον οποίο μπορούν να διαλυθούν, συνίσταται στο σχηματισμό μικκυλίων. Τα μικκύλια είναι συνήθως σφαιρικά συσσωματώματα καρβοξυλικών ιόντων τα οποία διασπείρονται στην υδατική φάση.

Παρατηρήστε το παρακάτω σχήμα αιωρήματος σάπωνα στο νερό, όπως παρουσιάζεται στο σχολικό βιβλίο:



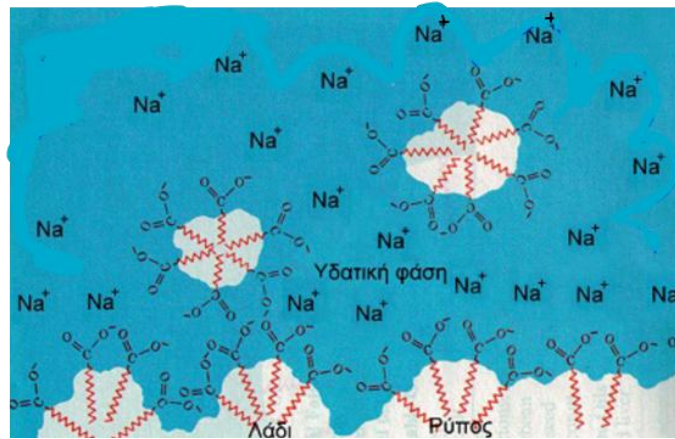
Εικόνα από το σχολικό βιβλίο Χημείας Β΄ Λυκείου γενικής παιδείας εκδ.2025

Τα ιόντα Na^+ , διασπείρονται ως στην φάση, εξαιτίας δεσμών

Τα καρβοξυλικά ιόντα, συνωστίζονται έτσι ώστε το αρνητικό τους άκρο να προσανατολίζεται προς την του μικκυλίου, γιατί αναπτύσσονται δεσμοί με το νερό. Αντίθετα, η μη πολική ανθρακική αλυσίδα προσανατολίζεται προς το εσωτερικό του μικκυλίου, καθώς μεταξύ των αλυσίδων αυτών αναπτύσσονται δεσμοί Τελικά η επιφάνεια των μικκυλίων φορτίζεται, οπότε τα μικκύλια

..... μεταξύ τους και παραμένουν διασπαρμένα μέσα στην φάση.

3.2 Πως καθαρίζουμε τα λίπη με τη βοήθεια σαπουνιού και νερού; Παρατηρήστε το παρακάτω σχήμα



Εικόνα από το σχολικό βιβλίο Χημείας Β΄ λυκείου γενικής παιδείας εκδ.2025

α) Οι περισσότερες «βρωμιές», αποτελούνται από ένα στρώμα λίπους ή λαδιού. Τα μόρια νερού, από μόνα τους, δεν μπορούν να διεισδύσουν στην ελαιώδη φάση άρα και τα λιπαρά σφαιρίδια. Γιατί;

.....

.....

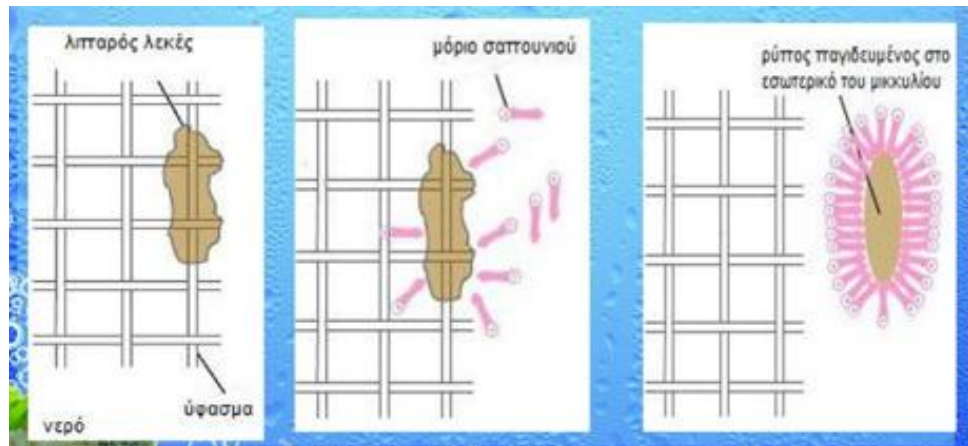
.....

.....

Όμως όταν το σαπούνι έρθει σε επαφή με το λίπος οι υδρόφοβες ουρές του, εισχωρούν στο σωματίδιο του λίπους γιατί αναπτύσσουν διαμοριακές δυνάμεις, ενώ οι κεφαλές είναι προσανατολισμένες προς το νερό.

β) Στη συνέχεια τα μόρια σαπουνιού, δηλαδή διασπείρουν στο νερό τις μη διαλυτές σε αυτό, λιπαρές ουσίες καθώς τις παγιδεύουν στο εσωτερικό μικκυλίων – σταγονιδίων, μέσω δημιουργίας δεσμών Τα μικκύλια απωθούνται ηλεκτρικά γιατί έχουν εξωτερικά φορτίο, δεν ενώνονται ξανά, διασπείρονται προς την υδατική φάση μέσω δεσμών..... και παίρνουν τον δρόμο προς την αποχέτευση.

γ) Πως ερμηνεύετε την παρακάτω εικόνα;



.....

.....

.....

.....

.....

3.3 Τι είναι ένα γαλάκτωμα και πως δημιουργείται; Αναζητήστε πληροφορίες στο διαδίκτυο σχετικά με τα γαλακτώματα όπως π.χ. το παρακάτω βίντεο: https://www.youtube.com/watch?v=bC_czAL24zY.

2^η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

1. Φάση επέκτασης και αξιολόγησης, μέσω πειραματισμού: Ανίχνευση λιπών σε υλικά καθημερινής χρήσης με τη βοήθεια της γαλακτωματοποίησης.

1.1 Θα μπορούσαμε να ανιχνεύσουμε την παρουσία λιπών σε υλικά καθημερινής χρήσης, με τη βοήθεια της γαλακτωματοποίησης;

.....
.....
.....

1.2 Ας επιλέξουμε ως γαλακτωματοποιητή μια ουσία καθημερινή και εύκολη στη χρήση: Θα μπορούσε αυτή να είναι η αιθανόλη; Διαθέτει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά-προϋποθέσεις;

.....
.....
.....
.....

Τα λίπη δεν διαλύονται στο νερό, αφού είναι υδρόφοβα μόρια και δεν μπορούν να σχηματίσουν με το H₂O δεσμό Όμως μπορούν να διαλυθούν στην αιθανόλη γιατί σχηματίζουν με αυτή, δεσμούς

Όταν στη συνέχεια προστεθεί νερό, τα λίπη θα σχηματίσουν μικροσκοπικά σταγονίδια δηλαδή θα δημιουργηθεί ένα με μορφή λευκή και θολή-νεφελώδη.

1.3 Η γαλακτωματοποίηση ή όχι, μπορεί να μας δώσει ποιοτικές πληροφορίες για ένα υλικό σχετικά με την παρουσία ή την απουσία λιπών, σε αυτό. Δεν μπορεί όμως να δώσει πληροφορίες για ποσότητα των λιπών, σε ορισμένη ποσότητα υλικού. Θα εξετάσουμε τέσσερα υγρά και άλλα τέσσερα στερεά δείγματα υλικών. Η δημιουργία γαλακτώματος υποδηλώνει την παρουσία λιπών.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος θα συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας:

	ΔΕΙΓΜΑ	Παρατήρηση του δείγματος αφού προσθέσουμε, 2ml απιονισμένου νερού	Ανιχνεύτηκε παρουσία λιπών; Ναι/Όχι
Υγρά δείγματα	Πρωτεΐνη		
	Ελαιόλαδο		
	Νερό βρύσης		
	Ζαχαρόνερο		
Στερεά δείγματα	Ζυμαρικό		
	Ψωμί		
	Τυρί		
	Μήλο		

1.4 Εκτέλεση πειράματος

α) Προσθέτουμε λίγες σταγόνες πρωτεΐνης, με πλαστική πιπέτα, σε δοκιμαστικό σωλήνα στην ετικέτα του οποίου έχουμε γράψει πρωτεΐνη. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ογκομετρικού σωλήνα, προσθέτουμε 2ml αιθανόλης και παρατηρούμε ότι το μίγμα είναι διαυγές, αλλά

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ογκομετρικού σωλήνα, προσθέτουμε 2ml απιονισμένου νερού και παρατηρούμε ότι η θολότητα του τελικού μίγματος δεν αλλάζει. Άρα εμφανίζεται λευκό γαλάκτωμα, άρα ανιχνεύονται λίπη στο αρχικό δείγμα.

β) Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία με 2ml ελαιόλαδου, προσθέτουμε 2ml αιθανόλης, ανακατεύοντας καλά και τέλος προσθέτουμε 2ml απιονισμένου νερού και παρατηρούμε το σχηματισμό λευκού γαλακτώματος, άρα επιβεβαιώνεται η λιπών στο αρχικό δείγμα.

γ) Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στον πίνακα και επαναλαμβάνουμε με νερό βρύσης προσθέτουμε 2ml αιθανόλης, ανακατεύοντας καλά και τέλος προσθέτουμε 2ml απιονισμένου νερού και παρατηρούμε ότι υπάρχει καμία μεταβολή στο τελικό μίγμα, πράγμα που επιβεβαιώνει την λιπών στο αρχικό δείγμα.

δ) Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στον πίνακα και επαναλαμβάνουμε με το διάλυμα ζάχαρης προσθέτοντας 2ml αιθανόλης, ανακατεύοντας καλά και τέλος προσθέτουμε 2ml απιονισμένου νερού και παρατηρούμε ότι υπάρχει καμία μεταβολή στο τελικό μίγμα, πράγμα που επιβεβαιώνει την λιπών στο αρχικό δείγμα.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και ένα μαύρο χαρτόνι, τοποθετώντας το πίσω από τους δοκιμαστικούς σωλήνες, ώστε με τη χρωματική αντίθεση να είναι ακόμα πιο σαφείς οι παρατηρήσεις μας.

ε) Συνεχίζουμε με τα στερεά δείγματα, γράφοντας αντίστοιχα ετικέτες στους δοκιμαστικούς σωλήνες: ζυμαρικό, ψωμί, τυρί και μήλο. Κόβουμε τα στερεά δείγματα σε κυβάκια 2 cm^3 και τα εισάγουμε στον αντίστοιχο δοκιμαστικό σωλήνα, ενώ στη συνέχεια προσθέτουμε 2ml αιθανόλης και ανακατεύουμε απαλά με γυάλινη ράβδο, με προσοχή, χωρίς να τρυπήσουμε τα δείγματα. Χρησιμοποιούμε διαφορετική γυάλινη ράβδο για κάθε δείγμα. Αφήνουμε τα δείγματα να ηρεμήσουν και βάζουμε ετικέτες σε 4 νέους δοκιμαστικούς σωλήνες, γράφοντας ζυμαρικό, ψωμί, τυρί και μήλο. Στη συνέχεια αφήνοντας πίσω το στερεό, με τη βοήθεια μικροπιπετών αναρροφούμε το υγρό από κάθε δοκιμαστικό σωλήνα και το εισάγουμε στους νέους και παρατηρούμε την εικόνα κάθε διαλύματος πριν προσθέσουμε απιονισμένο νερό.

στ) Για το ζυμαρικό είναι θολό και καμία μεταβολή δεν σημειώνεται όταν του προσθέσουμε 2ml απιονισμένου νερού. Επομένως δεν σχηματίζεται, άρα ανιχνεύονται

ζ) Όταν το απιονισμένο νερό προστεθεί στο μίγμα αιθανόλης – ψωμιού, εμφανίζεται μια θολότητα που υποδηλώνει μια μικρή λιπών.

η) Όταν το απιονισμένο νερό προστεθεί στο μίγμα αιθανόλης – τυριού, σχηματίζεται ένα ξεκάθαρο, λευκό, άρα ανιχνεύεται παρουσία λιπών.

θ) Όταν το απιονισμένο νερό προστεθεί στο μίγμα αιθανόλης – μήλου, συμβαίνει μεταβολή στο μίγμα, πράγμα που υποδηλώνει την λιπών. Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις και συμπεράσματα στον πίνακα.

1.5. Φάση ανοικτής διερεύνησης

Με τη βοήθεια διαδικτυακής αναζήτησης να σχεδιάσετε μια κατάλληλη εργαστηριακή διαδικασία ώστε να παρασκευάσετε ένα γαλάκτωμα για εξωτερική δερματική χρήση ως ενυδατική κρέμα χεριών, επιλέγοντας τις κατάλληλες πρώτες ύλες και τα κατάλληλα εργαστηριακά σκεύη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chung, C. & McClements, D.J. (2018). Characterization of Physicochemical Properties of Nanoemulsions: Appearance, Stability, and Rheology. Jafari S.M. & McClements D.J.(Eds.). *Nanoemulsions* . Academic Press.
- Dalgeish, D. (2006). Food emulsions—their structures and structure-forming properties. *Food Hydrocolloids, Vol.20*. Issue 4.
- Goodarzi, F. & Zendehboudi, S. (2018) A Comprehensive Review on Emulsions and Emulsion Stability in Chemical and Energy Industries. *The Canadian Journal of chemical engineering*.
- Kapalos, J., Giannopoulou, D., Papadimitriou, K. & Koliadima, A. (2025). A Comprehensive Review of Emulsion-Based Nisin Delivery Systems for Food. *Foods, 14*, 1338.
- McClements, D.J. (2005). *Food Emulsions principles, practices, and techniques*. (2d edition). CRC Press.
- McClements, D.J. (2015). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. (3rd ed). CRC Press.
- McClements, D.J. (2016). *Food Emulsions principles, practices, and techniques* . (3d edition). CRC Press.
- Mollet, H. (2001). *Formulation Technology: Emulsions, Suspensions, Solid Forms*. Wiley-Vch Verlag GmbH.
- Rao, J. & McClements, D.J. (2011). Formation of flavor oil microemulsions, nanoemulsions and emulsions: Influence of composition and preparation method. *J. Agric. Food Chem. 2011, 59*, 5026–5035.
- Rosen, M. J. (2004). *Surfactants and interfacial phenomena* . (3rd Edition). John Wiley & Sons Inc.
- Tadros, T. (2013). *Emulsion Formation and Stability*, Wiley-Vch.

- Αυγουστάκης, Κ. (2001). *Σημειώσεις Φαρμακευτικής Τεχνολογίας Ι*. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Γιαμαλίδης, Π. (1992). *Σημειώσεις Φαρμακευτικής Τεχνολογίας Ι*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Δούτση, Μ. (2017). *Μελέτη σταθερότητας γαλακτωμάτων που παρασκευάζονται με καταστροφική αναστροφή φάσης και χρήση μη ιονικών τασενεργών*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Καμπάνη, Α. (2014). *Χαρακτηρισμός και βελτιστοποίηση της διεργασίας παραγωγής γαλακτωμάτων μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης δύο τύπων πειραματικού σχεδιασμού*. Φαρμακευτική Σχολή, ΕΚΠΑ.
- Κατάκης, Δ. & Πνευματικάκης, Γ. (1983). *Πανεπιστημιακή Ανόργανος Χημεία Α*. Οργανισμός εκδόσεων διδακτικών βιβλίων.
- Κλούρας, Ν. (1999). *Βασική Ανόργανη Χημεία*. Εκδόσεις Π. Τραυλός.
- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π. & Κάλλης, Α. (2024). *Χημεία β' λυκείου γενικής παιδείας*.
- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π. & Κάλλης, Α. (2025). *Χημεία γ' λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών & Σπουδών Υγείας*.
- Μαυρόπουλος, Μ.Σ. (1997). *Διδάσκω Χημεία*. Σαββάλας.
- Πνευματικάκης, Γ., Μητσοπούλου, Χ., & Μεθενίτης, Κ. (2017). *Γενικές Αρχές Ανόργανης Χημείας*. Σταμούλης Α.Ε.
- Σανιδά, Μ. (2014). *Χρήση υπερήχων για την παρασκευή γαλακτωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη με σκοπό τον μικροεγκλεισμό κουρκουμίνης*. Μεταπτυχιακή μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Σκορδούλης, Κ., & Στεφανίδου, Κ. (2021). *Διδακτική Μεθοδολογία των Φυσικών Επιστημών. Θεωρία και Πρακτική*. Εκδόσεις Προπομπός.

Τμήμα Χημείας Πανεπιστημίου Πατρών. (2024-25). Σημειώσεις-παρουσίαση (2024-25) για την Χημεία και Φυσικοχημεία κολλοειδών (Αιωρήματα & Γαλακτώματα). Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Αναλυτικής Χημείας, Εαρινό εξάμηνο . Ανακτήθηκε 2 Νοεμβρίου, 2025, από <https://eclass.upatras.gr/modules/document/index.php?course=CMNG2128>.