

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



**Πτυχιακή Εργασία**  
**«Χαρακτηρισμός κολλοειδών σωματιδίων**  
**σε προϊόντα ζωικής προέλευσης»**



Δρούγκας Φίλιππος

Επιβλέπων Καθηγητής  
Ιωάννης Δ. Καπόλος

**Καλαμάτα**  
**2018**

## Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή μου εργασία με τίτλο «Χαρακτηρισμός κολλοειδών σωματιδίων σε προϊόντα ζωικής προέλευσης» εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών στο Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής του Τεχνολογικού Ιδρύματος Πελοποννήσου για την απόκτηση του Πτυχίου Τεχνολόγων Τροφίμων..

Επιβλέπων καθηγητής ήταν ο κ. Καπόλος Ιωάννης, Πρύτανης του Τεχνολογικού Ιδρύματος Πελοποννήσου, στον οποίο θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την καθοδήγηση σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας μου. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες για τις γνώσεις που αποκόμισα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των μεθόδων χαρακτηρισμού κολλοειδών σε προϊόντα ζωικής προέλευσης. Αρχικά γίνεται σύντομη αναφορά στα συστήματα διασποράς, με έμφαση στην κατανόηση των εννοιών «μέσο διασποράς και διεσπαρμένη ουσία». Μετά παρατίθεται εκτενής περιγραφή στα κολλοειδή συστήματα και στην κατηγοριοποίηση τους, με βάση τις φυσικές καταστάσεις του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης ουσίας, τον τύπο της αλληλεπίδρασης μεταξύ του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης φάσης, καθώς και τους τύπους σωματιδίων στη διεσπαρμένη φάση, στην ανάλυση των ιδιοτήτων τους (φυσικές, οπτικές, κινητικές, ομαδικές, ηλεκτρικές). Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στις ηλεκτρικές ιδιότητες και ειδικά στην ηλεκτροφόρηση, καθώς και στην καταστροφή των κολλοειδών συστημάτων. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά για τη σπουδαιότητα των κολλοειδών συστημάτων στην καθημερινή ζωή, αφού συναντώνται στα τρόφιμα, στα φάρμακα, στη φύση, στη βιομηχανία και μια προσέγγιση για τα προϊόντα ζωικής προέλευσης με έμφαση στα βασικά τρόφιμα ζωικής προέλευσης, όπως κρέας, αυγά, γάλα. Μετά γίνεται επισκόπηση των μεθόδων παρασκευής κολλοειδών, της διασκόρπισης και της συσσωμάτωσης, καθώς και αναλυτική περιγραφή των μεθόδων χαρακτηρισμού κολλοειδών. Η διασκόρπιση επιτυγχάνεται α) με μηχανική πέψη, β) με πέψη με ιόντα και γ) με πέψη με πλύση. Η συσσωμάτωση ενός κολλοειδούς τροφίμων μπορεί να προκληθεί με τρεις βασικούς τρόπους: με τη φυσική επεξεργασία (ανάδευση, θέρμανση, επεξεργασία υψηλής πίεσης κλπ.), με χημική αλλαγή (οξίνιση, προσθήκη αλάτων, πολυμερών, επιφανειοδραστικών, κλπ.), ή με ενζυματικά δράση (π.χ. ζύμωση). Σε αραιές διασπορές (ή γαλακτώματα), η συσσώρευση μπορεί να γίνεται με μετατόπιση του κανονικού μεγέθους σωματιδίων σε μεγαλύτερα μεγέθη σωματιδίων ή με αύξηση του ρυθμού της καθίζησης που προκαλείται από τη βαρύτητα (ή κρέμασμα). Τέλος, ως προς το χαρακτηρισμό κολλοειδών, η εργασία εστιάζει στις μεθόδους που έχουν εφαρμογή σε τομείς των προϊόντων ζωικής προέλευσης, όπως η Δυναμική Σκέδαση Φωτός (DLS), η Στατική Σκέδαση Φωτός (SLS), η Ηλεκτρονιακή Μικροσκοπία Μετάδοσης (TEM), Ηλεκτρονιακή Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM) και η Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου (FFF).

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to study the methods of colloids characterization to products of animal origin. Initially, a brief reference is made to dispersion systems, with an emphasis on understanding the meaning of "dispersion medium and dispersed phase". In the following, there is an extensive description of the colloidal systems and their categorization based on the physical conditions of the dispersion medium and dispersed phase, based on the interaction between the dispersion medium and dispersed phase, as well as the types of particles in the dispersed phase, based on the analysis of properties (physical, optical, kinetic, group, electrical). Particular mention is made of electrical properties, especially electrophoresis, as well as destruction of colloidal systems. Then, there is a reference to the importance of colloidal systems in everyday life, due to their existence in food, medicine, nature, industry and also an approach to products of animal origin, focusing on the basic food of animal origin such as meat, eggs, milk. Also methods of colloidal preparation, dispersion and aggregation, are reported and an overview and description of colloid characterization methods is provided. Dispersion is achieved: a) by mechanical digestion, b) by ion digestion, and c) by digestion by washing. Aggregation of colloids in food can be caused by three main ways: physical treatment (agitation, heating, high pressure treatment, etc.), chemical change (acidification, addition of salts, polymers, surfactants, etc.) or by enzymatic action (e.g., fermentation). In sparse dispersions (or emulsions), aggregation is detected by shifting the medium particle size to larger particle sizes or by increasing the rate of sedimentation caused by gravity. Finally, in terms of colloid characterization, this study focuses on methods applied to products of animal source such as Dynamic Light Scattering (DLS), Static Light Scattering (SLS), Transmission Electron Microscopy (TEM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Field Flow Fractionation or One-Phase Chromatography (FFF).

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	ii
Περίληψη .....	iii
Abstract .....	iv
Περιεχόμενα.....	v
Εισαγωγή.....	vi
Κεφάλαιο 1 : Κολλοειδή συστήματα .....	1
1.1. Ιστορική αναδρομή .....	1
1.2.Συστήματα διασποράς.....	2
1.3.Ορισμός κολλοειδών .....	3
1.4. Κατηγορίες κολλοειδών συστημάτων .....	5
1.5. Ιδιότητες των κολλοειδών συστημάτων.....	7
1.6. Καταστροφή των κολλοειδών συστημάτων.....	18
Κεφάλαιο 2 : Κολλοειδή στην καθημερινότητα, προϊόντα ζωικής προέλευσης και μεθοδολογίες παρασκευής κολλοειδών .....	23
2.1. Η σπουδαιότητα των κολλοειδών συστημάτων στην καθημερινότητα .....	23
2.2. Τα προϊόντα ζωικής προέλευσης.....	27
2.3. Μεθοδολογίες παρασκευής κολλοειδών συστημάτων .....	33
2.3.1. Μέθοδοι διασκόρπισης.....	33
2.3.2. Μέθοδοι συσσωμάτωσης .....	34
2.3.3. Καθαρισμός των κολλοειδών διαλυμάτων.....	36
Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι χαρακτηρισμού κολλοειδών.....	39
3.1. Περιγραφή Χαρακτηρισμού κολλοειδών τροφίμων ζωικής προέλευσης .....	39
3.2. Μέθοδοι χαρακτηρισμού κολλοειδών.....	40
3.1.1 Δυναμική Σκέδαση Φωτός (DLS).....	41
3.1.2. Στατική Σκέδαση Φωτός (SLS).....	45
3.1.3. Ηλεκτρονιακή μικροσκοπία διέλευσης και σάρωσης (TEM – SEM).....	47
3.1.4. Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου (FFF) .....	49
Συμπέρασμα .....	54
Πηγές-βιβλιογραφία.....	55

## Εισαγωγή

Τα τρόφιμα, τα φαρμακευτικά προϊόντα, τα καλλυντικά, τα χρώματα βαφής, ορισμένα δομικά υλικά, στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως το έδαφος, τα νέφη και η ομίχλη, καθώς και τα περισσότερα από τα υλικά γύρω μας αποτελούνται από κολλοειδή. Μεγάλος αριθμός ειδών της καθημερινής μας διατροφής αποτελείται από κολλοειδή συστήματα, όπως είναι το γάλα, το βούτυρο, το κρέας και το ψωμί. Τα παραπάνω αναδεικνύουν ότι η αξία των κολλοειδών είναι ιδιαίτερη σημαντική σε πολλούς τομείς της ζωής, της οικονομίας και των επιστημών.

Σε βιολογικό επίπεδο, η αυτοάμυνα του οργανισμού βασίζεται στη συντήρηση των κολλοειδών συστημάτων. Για τη συντήρηση συγκεκριμένων κολλοειδών, ο οργανισμός δημιουργεί ή και παρέχει μεγάλη ποσότητα αιωρούμενων ουσιών με αποτέλεσμα την αποφυγή αλλαγής του pH. Επιπλέον, ο οργανισμός αλλάζει κατά διαστήματα και ανανεώνει τα παλαιά κολλοειδή με την αντικατάσταση των κυττάρων.

Στην ιατρική, πολλά φάρμακα και εμβόλια αποτελούν φυσικά κολλοειδή συστήματα διασποράς, όπως διάφορα αντισηπτικά και αντιτοξικά φάρμακα που είναι κολλοειδή συστήματα διασποράς χρυσού, λευκόχρυσου, αργύρου και σεληνίου.

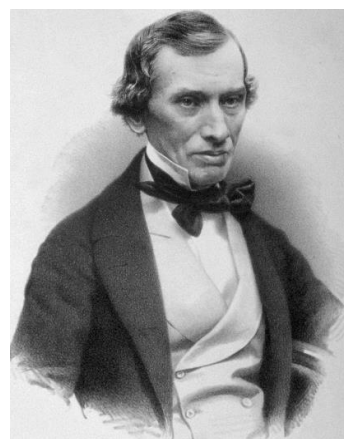
Στη γεωργία, η γονιμότητα των εδαφών εξαρτάται και από την παρουσία κολλοειδών συστημάτων, επειδή αυτά συγκρατούν το νερό και τροφοδοτούν τα φυτά κατά τις περιόδους της ξηρασίας. Η παρουσία κολλοειδών στο νερό των ποταμών στις εκβολές τους αποτελεί το βασικότερο παράγοντα της ευφορίας των εδαφών αυτών, γεγονός που οφείλεται στη διαδικασία κροκίδωσης των κολλοειδών, όταν έρχονται σε επαφή με τους ηλεκτρολύτες του θαλασσινού νερού (Tao A. et al 2008).

Στη βιομηχανία, η σημασία των κολλοειδών είναι ιδιαίτερα μεγάλη, λόγω του γεγονότος ότι μεγάλος αριθμός πρώτων υλών και προϊόντων είναι κολλοειδούς σύστασης. Η σκλήρυνση των δομικών κονιαμάτων οφείλεται στην κροκίδωση του κολλοειδούς αργιλικού ασβεστίου, που αποτελεί τη συνδετική ύλη των συστατικών των κονιαμάτων (Thomas, 1988). Μεγάλος αριθμός χημικών διεργασιών, όπως η βαφή των υφάνσιμων ινών και η βυρσοδεψία, βασίζεται στην κροκίδωση κολλοειδών συστημάτων. Επίσης, ιδιαίτερη σπουδαιότητα έχουν εφαρμογές των κολλοειδών στη χημική βιομηχανία, τη βιοτεχνολογία, την κεραμική, τα μεταλλικά στοιχεία και τη νανοτεχνολογία μεταξύ άλλων.

# Κεφάλαιο 1 : Κολλοειδή συστήματα

## 1.1. Ιστορική αναδρομή

Η ενασχόληση των επιστημόνων με τα κολλοειδή συστήματα έχει τις ρίζες της στον 19ο αιώνα και αφορούσε στη μελέτη της συμπεριφοράς των λεπτών σωματιδίων. Πρώτος, το 1840, ο Ιταλός επιστήμονας Francesco Selmi χρησιμοποίησε τον όρο «ψευδο-διαλύματα» για να χαρακτηρίσει κάποια διαλύματα με ιδιότητες, διαφορετικές από αυτές των πραγματικών διαλυμάτων. Τα διαλύματα αυτά παρουσίαζαν έντονη σκέδαση του φωτός, ενώ οι διαλυμένες σε αυτά ουσίες κατακρημνίζονταν με την προσθήκη πολύ μικρών ποσοτήτων αλάτων, που δεν αντιδρούσαν με αυτές, διατηρώντας ταυτόχρονα τη θερμοκρασία και τον όγκο του συστήματος. Ο όρος "κολλοειδές" - από τις ελληνικές λέξεις "κόλλα" και "είδος" - χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1861 από το Βρετανό χημικό Thomas Graham, (1805-1869) και είχε ως σκοπό την διάκριση των κολλοειδών από τα κρυσταλλοειδή, όπως για παράδειγμα η ζάχαρη και το αλάτι. Επιπλέον, ο Graham παρατήρησε ότι τα διαλύματα ζωικής κόλλας, αγάρ-αγάρ και η ζελατίνη έχουν πολύ μικρή ταχύτητα διάχυσης συγκρίνοντάς τα με κάποια διαλύματα ανόργανων και οργανικών ενώσεων με απλά μόρια. Η παρατήρησή του, είχε σκοπό την περαιτέρω μελέτη των μακρομοριακών ουσιών και των διαλυμάτων της κόλλας.



Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ο Άγγλος επιστήμονας Michael Faraday (1791-1867) έδειξε ότι όταν διαπεράσει μια ισχυρή ακτίνα φωτός δια μέσου ενός κολλοειδούς διαλύματος, τα κολλοειδή σωματίδια θα είναι διασκορπισμένα. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε «Φαινόμενο Tyndall» και ανακαλύφθηκε από τον Ιρλανδό φυσικό John Tyndall (1820-1893).

Το 1927, ο Γερμανός βιολόγος και χημικός Wolfgang Ostwald (1883-1943) αναφέρθηκε στην επιστήμη των κολλοειδών με την παρουσίαση του βιβλίου του «Ο κόσμος των χαμένων διαστάσεων», λόγω της έλλειψης κατάλληλου τρόπου χαρακτηρισμού τους. Επιπλέον, θεωρούσε ότι τα κολλοειδή είναι συστήματα διασποράς, που τα σωματίδια μιας ουσίας βρίσκονται σε διαμερισμό έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των  $10^{-7}$ cm και μικρότερες των  $10^{-5}$ cm.

Η δυνατότητα ενσωμάτωσης διαφόρων μελετών για τα κολλοειδή σε διάφορες τεχνολογικές και βιολογικές εφαρμογές, προκάλεσε επιστημονικό ενδιαφέρον από τη δεκαετία του '30 και μετά. Ωστόσο, η έναρξη του Β' Παγκόσμιου Πόλεμου ανέστειλε το

ενδιαφέρον πολλών ακαδημαϊκών κύκλων και ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες, παρά τις συνεχείς και ευρέως διαδεδομένες βιομηχανικές εφαρμογές. Η αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος, που ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '60, προέκυψε από την εμφάνιση νέων τεχνολογικών προβλημάτων, όπως για παράδειγμα, στην κατασκευή συνθετικών υλικών για επιστρώσεις, στην ενίσχυση των μεθόδων άντλησης πετρελαίου, στην ανάπτυξη νέων καυσίμων, στη μόλυνση του περιβάλλοντος, στην κατασκευή κεραμικών και τη βιοτεχνολογία. Περαιτέρω ερεθίσματα δόθηκαν στους επιστήμονες από την πρόοδο στη θεωρία των διασωματιδιακών δυνάμεων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη αρκετών νέων πειραματικών τεχνικών, αφού παρατήρησαν ότι οι δυνάμεις και οι ιδιότητες των σωματιδίων ήταν πιο δύσκολο να μετρηθούν με ακρίβεια στην κολλοειδή κλίμακα και οι αριθμητικές τιμές ήταν συχνά το αποτέλεσμα μιας μακράς αβέβαιης αλυσίδας συμπερασμάτων. Νέες τεχνικές κατέστησαν δυνατή την άμεση και ακριβή μέτρηση του μεγέθους, του σχήματος και της συγκέντρωσης, καθώς και τις ελκυστικές και απωθητικές δυνάμεις μεταξύ επιφανειών που χωρίζονται από μερικά νανόμετρα. Ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων σχετικά με τη μελέτη των κολλοειδών σωματιδίων αναπτύχθηκαν, συμπεριλαμβανομένης της διάχυσης, της ηλεκτροφόρησης και της σκέδασης του ορατού φωτός και των ακτίνων X. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους των κολλοειδών σωματιδίων, η ατομική τους κίνηση μεταβαλλόταν συνεχώς με αποτέλεσμα την τυχαία σύγκρουση με τα μόρια του μέσου διασποράς, γνωστή ως κίνηση Brownian κίνηση.

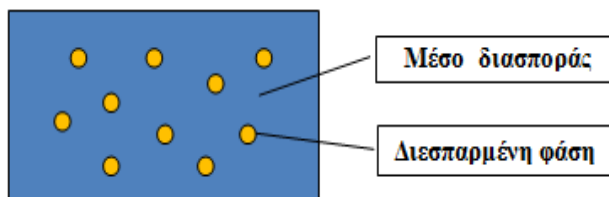
## **1.2.Συστήματα διασποράς**

Η αλληλεπίδραση δύο ή περισσότερων στοιχείων, έχει ως αποτέλεσμα, κατά κανόνα, τη δημιουργία χημικής ένωσης, κατά τη διάρκεια της οποίας υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου του συστήματος. Η μη μεταβολή του ενεργειακού περιεχόμενου του συστήματος, μετά από την ένωση των ουσιών ή τη δημιουργία μιας ένωσης με άλλες φυσικοχημικές ιδιότητες, οδηγεί στο σχηματισμό ενός συστήματος διασποράς. Μίξη στοιχείων ή χημικών ενώσεων ή και στοιχείων με χημικές ενώσεις μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία συστημάτων διασποράς, Τα συστατικά ενός συστήματος διασποράς παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά, ήτοι:

- Συνυπάρχουν με οποιαδήποτε αναλογία.
- Μπορούν να διαχωριστούν με μηχανικά μέσα.
- Διατηρούν τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες.
- Το σύνολο του ενεργειακού περιεχομένου του μέσου γενικά προκύπτει από το άθροισμα των ενεργειακών περιεχομένων των συστατικών του.



Το συστατικό ενός συστήματος διασποράς που βρίσκεται σε περίσσεια χαρακτηρίζεται ως **μέσο διασποράς** ή εξωτερική φάση και το άλλο ή άλλα ως **δισπαρμένη φάση** ή εσωτερική φάση. Τα συστήματα διασποράς με δύο συστατικά ονομάζονται δυαδικά και μπορεί να προκύψουν από εννέα συνδυασμούς (3X3), ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των συστατικών, αέριο-υγρό-στερεό, ήτοι **A-A, A-Y, A-Σ, Y-A, Y-Y, Y-Σ, Σ-A, Σ-Y & Σ-Σ**.



Ο Wolfgang Ostwald ταξινόμησε τα δυαδικά συστήματα σε 3 κατηγορίες, ανάλογα με τις διαστάσεις των σωματιδίων της δισπαρμένης φάσης, ήτοι:

1. **Αδρομερή** είναι τα συστήματα, με το μέγεθος των σωματιδίων της δισπαρμένης φάσης να είναι μεγαλύτερο από  $5 \times 10^{-5}$  cm, διακρίνονται με το κοινό μικροσκόπιο και δεν διέρχονται από κοινούς ηθμούς. Τα αδρομερή δυαδικά συστήματα καλούνται και ετερογενή, λόγω του ότι οι δυο φάσεις διακρίνονται εύκολα μεταξύ τους.

2. **Κολλοειδή** είναι τα συστήματα, με το μέγεθος των σωματιδίων της δισπαρμένης φάσης να κυμαίνεται μεταξύ  $10^{-7}$  cm έως  $10^{-5}$  cm, είναι ορατά μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, διέρχονται από κοινούς ηθμούς, αλλά συγκρατούνται από υπερηθμούς. Βρίσκονται δηλαδή ανάμεσα στα ομογενή (διαλύματα) και τα ετερογενή συστήματα διασποράς (αιωρήματα).

3. **Μοριακά** είναι τα συστήματα, όπου τα σωματίδια της δισπαρμένης φάσης είναι μικρότερα από  $10^{-7}$  cm, δηλαδή σε διαστάσεις απλού μορίου. Στα μοριακά συστήματα υπάρχει μία και μόνο φάση, είναι ομογενή, έχοντας την ίδια σύσταση και ιδιότητες σε κάθε σημείο της μάζας τους. Τα μοριακά συστήματα ονομάζονται και διαλύματα, όπου η δισπαρμένη φάση ονομάζεται και διαλυμένη ουσία και το μέσο διασποράς διαλύτης.

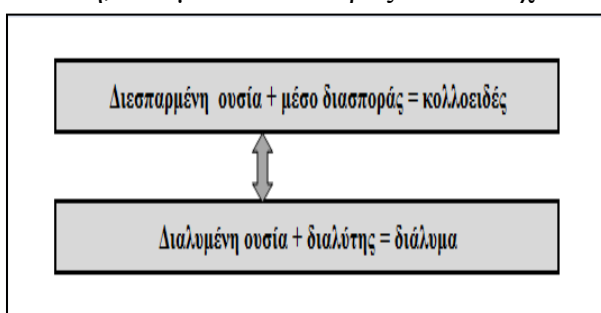
Οι 3 κατηγορίες των συστημάτων διασποράς εμφανίζονται σε όλους τους συνδυασμούς των δυαδικών συστημάτων, εκτός από το συνδυασμό A-A, που απαντάται πάντοτε μόνο ως μοριακός.

### 1.3. Ορισμός κολλοειδών

Όπως προαναφέρθηκε, ο όρος «κολλοειδή» πρωτοχρησιμοποιήθηκε τον 19<sup>ο</sup> αιώνα από τον Thomas Graham, μετά από την ταξινόμηση ουσιών σε 2 κατηγορίες;

- Τα κρυσταλλοειδή (οξέα, βάσεις, άλλα και οργανικά μόρια)
- Τα κολλοειδή (άμυλο, κόλλες, ζελατίνη κ.ά).

Τα κολλοειδή συστήματα είναι «ομογενή» μίγματα, που περιέχουν μικρά σωματίδια μιας χημικής ουσίας, που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, είναι ομοιόμορφα κατανομημένα σε μια άλλη ουσία και εξακολουθούν να είναι μη αναμίξιμα. Τα κολλοειδή περιέχουν διεσπαρμένα σωματίδια, αιωρούμενα που δεν καθιζάνουν, βρίσκονται δε στην περιοχή μεταξύ αιωρημάτων και διαλυμάτων. Το μέγεθος της διαμέτρου των σωματιδίων στη διεσπαρμένη φάση μπορεί να είναι 1–100 nm, τα δε σωματίδια μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 ομάδες, ήτοι: α) πολυμοριακά, β) μακρομοριακά και γ) συσσωματώματα ή μικκύλια. Τα κολλοειδή συστήματα ουσιαστικά θεωρούνται ως **ετερογενή συστήματα**, όπου το μίγμα δημιουργείται, όταν η διεσπαρμένη ουσία διασκορπιστεί και συνυπάρχει μέσα σε ένα μέσο διασποράς. Στην ανάλογη περίπτωση, το μέσο διασποράς αντιστοιχεί στο διαλύτη και η διεσπαρμένη ουσία στη διαλυμένη ουσία αντίστοιχα (Hiemenz,1997), όπως σχηματικά φαίνεται στην παράπλευρη εικόνα. Όπως προαναφέρθηκε, τα κολλοειδή τοποθετούνται στην περιοχή μεταξύ



αιωρημάτων και διαλυμάτων, παρουσιάζοντας ομοιότητες και διαφορές (Καραϊσκάκης Γ., Φυσικοχημεία, 1995, σελ.422), που μπορούν να συνοψιστούν παρακάτω:

- Τα διαλύματα είναι ομογενή μίγματα, ενώ τα κολλοειδή και τα αιωρήματα ετερογενή.
- Το μέγεθος των σωματιδίων είναι μικρότερο στα διαλύματα ( $>10^{-7}$ ), αυξανόμενο σε κολλοειδή ( $10^{-7} - 10^{-5}$ ) και αιωρήματα ( $<10^{-5}$ ).
- Με την επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος στις 3 καταστάσεις, παρατηρείται ηλεκτρόλυση στα διαλύματα, ηλεκτροφόρηση στα κολλοειδή και καμία επίδραση στα αιωρήματα
- Τα σωματίδια των διαλυμάτων και των κολλοειδών δεν καθιζάνουν ποτέ, ενώ τα σωματίδια των αιωρημάτων επηρεάζονται από τη βαρύτητα.
- Με τη ρίψη δεσμίδας φωτός μέσα σε ένα διάλυμα δεν παρατηρείται καμία διασπορά, σε αντίθεση με τη διέλευσή του από ένα κολλοειδές ή αιώρημα, όπου παρατηρείται διασπορά του φωτός και μια σχετική απορρόφηση, όπως φαίνεται στην παρακείμενη εικόνα (φαινόμενο Tyndall).
- Τα σωματίδια των αιωρημάτων διαχωρίζονται με διήθηση και των κολλοειδών με διαπίδυση.



## 1.4. Κατηγορίες κολλοειδών συστημάτων

Η κατηγοριοποίηση των κολλοειδών γίνεται είτε με βάση τις φυσικές καταστάσεις του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης ουσίας ή με τον τύπο της αλληλεπίδρασης μεταξύ του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης φάσης ή με βάση τους τύπους σωματιδίων στη διεσπαρμένη φάση.

**1.4.1.** Βάσει της φυσικής κατάστασης του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης ουσίας, τα κολλοειδή ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, που αναφέρονται στον πίνακα 1:

**Πίνακας 1**

Μέσο Διασποράς	Διεσπαρμένη ουσία	Ονομασία κολλοειδούς	Παράδειγμα
Υγρό	Υγρό	Γαλάκτωμα	Γάλα, Γαλλική σάλτσα σαλάτας, Μαγιονέζα, Νερό σε λάδι
Υγρό	Στερεό	Υγρόλυμα	Αποβουτυρωμένο γάλα, Χρυσός σε νερό
Υγρό	Αέριο	Αφρός	Αφρός σαπουνιού, Μαρέγκα, Σαντιγί
Στερεό	Αέριο	Στερεός αφρός	Ζαχαρωτά, Ελαφρόπετρα
Στερεό	Στερεό	Στερεόλυμα	Χρυσός σε γυαλί, Μαργαριτάρι
Στερεό	Υγρό	Λύμα ή πηκτή	Ζελέ
Αέριο	Αέριο	Αερόλυμα	Ατμόσφαιρα
Αέριο	Υγρό	Αιώρημα	Σύννεφα, ομίχλη
Αέριο	Στερεό	Αερόλυμα	Καπνός, Σκόνη, Καπνιστά τρόφιμα

**1.4.2.** Βάσει του αριθμού των μορίων στα μικκύλια διακρίνονται σε μονομοριακά και πολυμοριακά.

**A.** Τα πολυμοριακά διακρίνονται σε:

- **Λυόφιλα (Υδρόφιλα) ή αντιστρεπτά.** Μόρια του μέσου διασποράς βρίσκονται στα μικκύλια, χωρίς να προκαθορίζεται το είδος του φορτίου τους. Κροκιδώνονται δύσκολα. Επανέρχονται στην προηγούμενη φάση, με την εξάλειψη του αίτιου, που προκάλεσε την κροκίδωσή τους. Αλλάζουν αισθητά τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς. Το φαινόμενο Tyndall είναι σχεδόν ασήμαντο.
- **Λυόφοβα (Υδρόφοβα) ή αναντιστρεπτά.** Δεν βρίσκονται μόρια του μέσου διασποράς στα μικκύλια. Το φορτίο του προσδιορίζεται. Κροκιδώνονται εύκολα. Δεν

επανέρχονται στην προηγούμενη φάση. Δεν αλλάζουν τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς. Το φαινόμενο Tyndall είναι έντονο.

**B.** Τα μοριακά ή μονομοριακά διακρίνονται σε :

- **Λυόφιλα (Υδρόφιλα) ή αναντιστρεπτά.** Μόριο του μέσου διασποράς βρίσκεται στα μικκύλια, χωρίς να προκαθορίζεται το είδος του φορτίου του. Κροκιδώνεται δύσκολα. Επανέρχεται στην προηγούμενη φάση, με την εξάλειψη του αίτιου, που προκάλεσε την κροκιδωσή του. Αλλάζει αισθητά τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς. Το φαινόμενο Tyndall είναι σχεδόν ασήμαντο.

- **Λυόφοβα (Υδρόφοβα) ή αναντιστρεπτά.** Δεν βρίσκεται μόριο του μέσου διασποράς στα μικκύλια. Το φορτίο του προσδιορίζεται. Κροκιδώνεται εύκολα. Δεν επανέρχεται στην προηγούμενη φάση. Δεν αλλάζει τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς. Το φαινόμενο Tyndall έντονο.

**Γ.** Επίσης ανάλογα με την ικανότητα ή μη των σωματιδίων να προσροφούν μόρια του κυρίου συστατικού και να αυξάνουν το μέγεθός τους διακρίνονται σε:

- **Λυόφιλα,** όταν έχουν ικανότητα να προσροφούν μόρια του μέσω διασποράς.

- **Λυόφοβα,** όταν δεν έχουν την ικανότητα να προσροφούν μόρια του μέσου διασποράς.

#### **1.4.3. Διάκριση μεταξύ λυόφιλων και λυόφοβων κολλοειδών**

Η απόλυτη διάκριση μεταξύ λυόφιλων και λυόφοβων κολλοειδών είναι αδύνατη (Καραϊσκάκης Γ., Φυσικοχημεία, 1995, σελ.423-424), αλλά υπάρχουν μερικές διαφορές μεταξύ τους όπως οι παρακάτω:

**α)** Επιφανειακή τάση: στα λυόφοβα κολλοειδή η επιφανειακή τάση είναι ίδια με το μέσο διασποράς, ενώ στα λυόφιλα κολλοειδή είναι μικρότερη.

**β)** Ιξώδες: Στα λυόφοβα κολλοειδή είναι ίδιο με το ιξώδες του μέσου διασποράς, ενώ στα λυόφιλα είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο του μέσου διασποράς

**γ)** Κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου τα σωματίδια των λυόφοβων κατευθύνονται προς ένα ηλεκτρόδιο. Στα λυόφιλα κολλοειδή τα σωματίδια μπορούν να κατευθύνονται και προς τα δύο ηλεκτρόδια ή να μην μετακινούνται καθόλου.

**δ)** Τα σωματίδια των λυόφοβων ανιχνεύονται εύκολα στο υπερμικροσκόπιο, ενώ των λυόφιλων όχι.

**ε)** Μικρές ποσότητες ηλεκτρολυτών προκαλούν καταβύθιση των λυόφοβων κολλοειδών, ενώ οι ίδιες ποσότητες δεν έχουν καμία επίδραση στα λυόφιλα. Στα λυόφιλα για να γίνει καταβύθιση απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρολυτών.

**στ)** Κατά την εξαέρωση ή ψύξη των λυόφοβων κολλοειδών σχηματίζονται στερεά που δεν μπορούν γενικά να μετατραπούν στο αρχικό υγρόλυμα με αντίστροφες φυσικές μεταβολές (πχ. θέρμανση). Η ίδια διεργασία για τα λυόφιλα είναι αντιστρεπτή, και τα στερεά που σχηματίζονται είναι αληθινά gels, δηλαδή βρίσκονται σε πηκτωματώδη κατάσταση.

Στον παρακάτω πίνακα 2, γίνεται μια συνοπτική αποτύπωση των διαφορών μεταξύ λυόφιλων και λυόφοβων κολλοειδών

**Πίνακας 2 : Διαφορές μεταξύ λυόφιλων και λυόφοβων κολλοειδών**

Λυόφιλα	Λυόφοβα
Μόρια του μέσου διασποράς μετέχουν στα διεσπαρμένα σωματίδια	Μόρια του μέσου διασποράς δεν μετέχουν στα διεσπαρμένα σωματίδια
Δεν καθορίζεται εκ των προτέρων το είδος του φορτίου των σωματιδίων	Έχουν καθορισμένο είδος φορτίου
Κροκιδώνονται δύσκολα	Κροκιδώνονται εύκολα
Επανέρχονται στη διασπορά μόλις πάψει να επιδρά η αιτία που προκάλεσε την κροκίδωσή τους	Δεν επανέρχονται στη διασπορά
Αλλάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του μέσου διασποράς	Δεν αλλάζουν τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς
Δεν παρουσιάζουν έντονα το φαινόμενο Tyndall	Παρουσιάζουν έντονα το φαινόμενο Tyndall
Η επιφανειακή τάση είναι μικρότερη από το μέσο διασποράς	η επιφανειακή τάση είναι ίδια με το μέσο διασποράς
Τα σωματίδια μπορούν να κατευθύνονται και προς τα δύο ηλεκτρόδια ή να μην μετακινούνται καθόλου	Κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου τα σωματίδια των λυόφοβων κατευθύνονται προς ένα ηλεκτρόδιο
Το ιζώδες είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο του μέσου διασποράς	Στα λυόφοβα κολλοειδή είναι ίδιο με το ιζώδες μέσου διασποράς
Τα σωματίδια των λυόφιλων δεν ανιχνεύονται στο υπερμικροσκόπιο	Τα σωματίδια των λυόφοβων ανιχνεύονται εύκολα στο υπερμικροσκόπιο
Η διεργασία εξαέρωσης ή ψύξης για τα λυόφιλα είναι αντιστρεπτή, και τα στερεά που σχηματίζονται είναι αληθινά gels, δηλαδή βρίσκονται σε πηκτωματώδη κατάσταση.	Κατά την εξαέρωση ή ψύξη των λυόφοβων κολλοειδών σχηματίζονται στερεά που δεν μπορούν γενικά να μετατραπούν στο αρχικό υγρόλυμα με αντίστροφες φυσικές μεταβολές (πχ. θέρμανση).

### 1.5. Ιδιότητες των κολλοειδών συστημάτων

Η εξαιρετικά έντονη απορροφητική ικανότητα είναι μια ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα που αποκτά η ύλη σε κολλοειδείς διαστάσεις. Γενικά, το σώμα κολλοειδούς συστήματος

αποκτά νέες ιδιότητες, που έχουν σχέση με τις διαστάσεις του, το φορτίο του και τη θερμική κίνηση των μικκυλίων.

Οι ιδιότητες αυτές διακρίνονται σε 5 διαφορετικές κατηγορίες που είναι οι εξής :

- Φυσικές
- Οπτικές
- Κινητικές
- Ομαδικές
- Ηλεκτρικές

### **1.5.1. Φυσικές ιδιότητες**

#### **A. Λυόφιλα κολλοειδή**

Γενικά, τα λυόφιλα κολλοειδή ή υδρόφιλα κολλοειδή επηρεάζουν κάποιες φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η διεσπαρμένη φάση και το μέσο διασποράς έχουν συγγενική σχέση. Οι ιδιότητες, όπως η πυκνότητα, η παραμόρφωση των μορίων του, που αποτελούν δομικά στοιχεία του μικκυλίου, διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό με τα ελεύθερα μόρια του μέσου διασποράς, εξαιτίας των απορροφητικών δυνάμεων, που ασκούνται από τις κολλοειδείς μονάδες. Στην κατηγορία αυτή, ταξινομούνται σωματίδια με υψηλό επίπεδο ενυδάτωσης, όπως οι πρωτεΐνες.

Το μεγαλύτερο μέρος των ουσιών αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο, όταν βρίσκονται με πολικό μέσο όπως το νερό, που βασίζεται σε διάφορους μηχανισμούς, λόγω χάρη τον ιονισμό και το σχηματισμό ιόντων από διάλυση. Το φορτίο που δημιουργείται στην επιφάνεια, αλληλεπιδρά με την κατανομή των συγγενικών ιόντων μέσα στο νερό. Τα ιόντα με αντίθετο φορτίο (counter-ions) από το φορτίο των κολλοειδών σωματιδίων έλκονται προς εκείνη την κατεύθυνση, ενώ αυτά με όμοιο φορτίο (co-ions) απωθούνται από αυτά. Έτσι, η φορτισμένη επιφάνεια και τα κατανεμημένα ιόντα που βρίσκονται κοντά της, σχηματίζουν μια ηλεκτρική διπλοστοιβάδα.

Έτσι, το λυόφιλο κολλοειδές σύστημα σε υγρό μέσο διασποράς έχει μεγαλύτερο, αλλά και μικρότερο ειδικό βάρος από το μέσο διασποράς. Για να δημιουργηθεί το λυόφιλο κολλοειδές σύστημα, η επιφανειακή τάση μειώνεται και το ιξώδες του μέσου διασποράς αυξάνεται. Η τιμή του δείκτη διάθλασης των μικκυλίων διαφοροποιείται σημαντικά, εξαιτίας της συγκράτησης των μορίων του μέσου διασποράς και πλησιάζει την τιμή του δείκτη διάθλασής του.

## **B. Λυόφοβα κολλοειδή**

Τα λυόφοβα κολλοειδή δεν παρουσιάζουν συγγένεια στις δύο φάσεις τους, όπως τα παραπάνω. Το φορτίο των σωματιδίων συνδέεται κατά κύριο λόγο με τη σταθερότητα των κολλοειδών σωματιδίων. Επειδή σ' αυτά δεν συγκρατούνται από τα μικκύλια του μέσου διασποράς, η παρουσία των μικκυλίων δεν αλλάζει τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις λυόφοβων κολλοειδών αποτελούν, τόσο ο κολλοειδής χρυσός που χρησιμοποιείται ως κατασκευαστής των κυττάρων, που διεγείρει με φυσικό τρόπο την κυτταρική ανάπτυξη, όσο και ο χλωριούχος άργυρος, που είναι ένα φυσικό και ισχυρό αντιβιοτικό ευρέος φάσματος και συμβάλλει στην καταπολέμηση των ανθεκτικών παθογόνων στα αντιβιοτικά στελεχών.

### **Διαφορά λυόφιλων και λυόφοβων κολλοειδών**

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο τύπων των κολλοειδών συστημάτων διασποράς είναι όταν έρχονται σε επαφή με τους ηλεκτρολύτες. Τα λυόφοβα κολλοειδή φορτίζονται με την προσρόφηση ιόντων και κροκιδώνονται με την προσθήκη ηλεκτρολυτών. Κατά τη διαδικασία της προσθήκης ηλεκτρολυτών, το φορτίο μειώνεται με αποτέλεσμα το συνολικό φορτίο του σωματιδίου, το δυναμικό ζ, που βρίσκεται σε κίνηση, να πλησιάζει την τιμή 0. Έτσι, οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals υπερισχύουν των ηλεκτρικών απωστικών δυνάμεων. Σύμφωνα με τον κανόνα του Schulze – Hardy, που αποδίδει προσεγγιστικά την έννοια της κροκίδωσης, η συγκέντρωση ενός ηλεκτρολύτη που μπορεί να κροκιδώσει ένα λυόφοβο κολλοειδές κατά περίπτωση, εξαρτάται από το φορτίο του ιόντος με φορτίο αντίθετο του κολλοειδούς (counter-ions), όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Έτσι, δισθενή και τρισθενή ιόντα μπορούν να προκαλέσουν πολύ πιο εύκολα κροκίδωση σε σχέση με τα μονοθενή ιόντα. Όμως, τα λυόφοβα κολλοειδή μπορούν να αποτρέψουν την καταβύθισή τους από ηλεκτρολύτες με τη βοήθεια των λυόφιλων και αυτό προβλέπει τη μη δημιουργία κροκίδωση τους. Η μεταβολή από τη σταθερή κατάσταση στην κροκίδωση συμβαίνει σε μια περιοχή συγκεντρώσεων του ηλεκτρολύτη. Η κρίσιμη συγκέντρωση του κολλοειδούς (critical colloid concentration) υπολογίζεται με ενεργειακά διαγράμματα και βάσει θεωριών, η μεταβολή της συνολικής ενέργειας της αλληλεπίδρασης με την απόσταση ανάμεσα στα σωματίδια είναι ίση με τη συνολική ενέργεια που οφείλεται στις ηλεκτρικές απωστικές διπλοστοιβάδες και στις ελκτικές δυνάμεις Van der Waals. Ο προσδιορισμός της κρίσιμης συγκέντρωσης του κολλοειδούς γίνεται με οπτικά μηχανήματα σε συγκεκριμένο χρόνο.

Από την άλλη πλευρά, τα λυόφιλα κολλοειδή χρειάζονται μεγαλύτερα ποσοστά συγκεντρώσεων για να φτάσουν σε σημείο κροκίδωσης. Βασικό ρόλο στην κροκίδωση των λυόφιλων κολλοειδών παίζει η ενυδάτωσή τους. Το φορτίο τους δίνεται από κάποιες ομάδες που δίνουν ιόντα. Παράδειγμα λυόφιλων, είναι οι πρωτεΐνες, που αποκτούν φορτίο από τον ιονισμό των αμινομάδων και των καρβοξυλομάδων, ώστε να δώσουν ιόντα καρβοξυλίου και αμμωνίας. Το μοριακό φορτίο και ο ιονισμός των παραπάνω ομάδων συνδέονται με το pH του διαλύματος. Υπάρχει μια αντίθεση, καθώς σε υψηλό pH τα μόρια της πρωτεΐνης είναι αρνητικά φορτισμένα, ενώ σε χαμηλό pH τα μόριά της είναι θετικά φορτισμένα. Παρατηρείται επομένως μια ηλεκτροουδετερότητα στην τιμή του pH, η οποία ονομάζεται ισοηλεκτρικό σημείο. Στο ισοηλεκτρικό σημείο η πρωτεΐνη βρίσκεται στην ιδανικότερη μορφή για κατακρήμνιση.

### **1.5.2. Οπτικές ιδιότητες**

Οι ιδιότητες αυτές εμφανίζονται στα μήκη κύματος του ορατού φωτός από 400 - 600 nm. Η πρώτη εμφάνιση κολλοειδούς συστήματος βρίσκεται στην ιώδη κατάσταση του ορατού φωτός σε μήκος κύματος 400 nm και αυτό έχει ως συνέπεια τα μικκύλια να κάνουν περίθλαση στο ορατό φως και κάθε ένα από τα μικκύλια να θεωρείται δευτερογενής πηγή φωτός. Η ένταση περίθλασης αυξάνεται για μικρά μήκη κύματος, που υπάρχουν μέσα στην κολλοειδή περιοχή. Για το λόγο αυτό, αν δέσμη φωτός προσπέσει σε λυόφοβο κολλοειδές σύστημα, η δέσμη σκεδάζεται περισσότερο στο γαλάζιο παρά στο κίτρινο. Αυτό οφείλεται στο γαλάζιο χρώμα του ουρανού, που αποτελεί το μοναδικό φυσικό κολλοειδές σύστημα αερίου σε αέριο. Παράδειγμα περίθλασης αποτελεί η χρήση κίτρινων φώτων στα αυτοκίνητα στις χώρες με μεγάλη ποσότητα ομίχλης. Η παρατήρηση της περίθλασης γίνεται από τα πλάγια ως προς την κατεύθυνση της εμφώτισης.

Το φαινόμενο της περίθλασης του φωτός σε λυόφοβα κολλοειδή συστήματα καλείται «φαινόμενο Tyndall» και συμβάλλει στα επόμενα :

#### **1. Διάκριση μεταξύ διαλύματος και λυόφοβου κολλοειδούς συστήματος**

Λόγω του φαινομένου Tyndall, η δέσμη ορατού φωτός είναι εμφανής κατά τη διέλευσή της από λυόφοβο κολλοειδές, γεγονός που βοηθά στη διάκριση μεταξύ διαλύματος και λυόφοβου κολλοειδούς συστήματος. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να υπάρξει διαφοροποίηση μεταξύ λυόφιλου και λυόφοβου κολλοειδούς, αφού στη πρώτη περίπτωση πραγματοποιείται ελάχιστη περίθλαση.

#### **2. Αριθμός, διάμετρος και φορτίο των μικκυλίων**



Λόγω του φαινομένου Tyndall προκαλείται μεταβολή της διαμέτρου των μικκυλίων, καθώς με τη χρήση μικροσκοπίου αυτά γίνονται ορατά και μπορεί να μετρηθεί ο αριθμός τους ανά  $\text{cm}^2$  ή ml, η διάμετρός τους και το είδος του φορτίου του με εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης.

### **3. Πιστοποίηση και παρακολούθηση της κροκίδωσης**

Λόγω του φαινομένου Tyndall, η καταστροφή κολλοειδούς συστήματος μπορεί να πιστοποιηθεί πιο αποτελεσματικά, γιατί η φωτεινή ακτίνα δεν είναι ορατή στο τμήμα του μέσου διασποράς, που έχει απαλλαγεί από τα μικκύλια, λόγω της κροκίδωσης.

#### **1.5.3. Κινητικές ιδιότητες**

##### **A. Έμμεση θερμική κίνηση των μικκυλίων, κίνηση Brownian**

Όπως και στη θερμική κίνηση των μορίων, τα μικκύλια των κολλοειδών βρίσκονται, τόσο σε τυχαία κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου, όσο και σε περιστροφή. Η περιστροφή μπορεί να παρατηρηθεί στο μικροσκόπιο, εξαιρουμένων των σφαιρικών μικκυλίων. Η τυχαία αυτή κίνηση των μικκυλίων ονομάζεται κίνηση Brownian. Η κίνηση αυτή έγινε αντιληπτή το 1827 από το βοτανολόγο Robert Brown, όταν μελετούσε την άτακτη κίνηση κόκκων γύρης στο νερό, ήταν όμως μία σημαντική παρατήρηση, η οποία στήριξε την μετέπειτα μοριακή κινητική θεωρία. Η κίνηση αυτή συνδέεται με το γεγονός ότι τα μικκύλια διαχέονται προς αραιότερο κολλοειδές σύστημα ή προς καθαρό μέσο διασποράς. Η δύναμη, η οποία ασκείται πάνω στην επιφάνεια του κολλοειδούς σωματιδίου, είναι ανάλογη, τόσο της συχνότητας των συγκρούσεων, όσο και της ταχύτητας των συγκρουόμενων μορίων του μέσου. Η συχνότητα των συγκρούσεων είναι προφανώς ανάλογη της πυκνότητας του μέσου σε μία περιοχή. Η κατεύθυνση και το μέτρο της συνισταμένης δύναμης μεταβάλλεται τυχαία από στιγμή σε στιγμή, οδηγώντας στην άτακτη προς όλες τις κατευθύνσεις κίνηση. Όταν το κολλοειδές σωματίδιο είναι σφαιρικό, η κίνηση Brown είναι μία απλή μεταφορική κίνηση οδηγώντας σε απλή διάχυση του κολλοειδούς. Ο Einstein διερεύνησε παραπέρα τη φυσική έννοια του συντελεστή διάχυσης των κολλοειδών, αποδεικνύοντας ότι ο συντελεστής διάχυσης εξαρτάται από την προβολή, πάνω σε άξονα συντεταγμένων, της μετατόπισης ενός μικκυλίου σε χρόνο  $t$  με την παραβολική σχέση:  $x^2 = 2Dt$ . Ο συντελεστής διάχυσης των κολλοειδών σωματιδίων  $D$  σχετίζεται με το συντελεστή τριβής τους  $f$ , με το νόμο διάχυσης του Einstein, ήτοι  $D=kT/f$ . Αν τα σωματίδια είναι σφαιρικά, ο συντελεστής τριβής τους έχει σχέση με το ιξώδες του μέσου διασποράς και την ακτίνα του σωματιδίου με το νόμο του Stokes:  $f=6\pi nr$ .

Συσχετίζοντας τους 3 τελευταίους τύπους, προκύπτει ο τύπος για τον υπολογισμό της μέσης εκτόπισης Brownian:

$$[\chi]^2 = \frac{kTt}{3\pi nr}$$

Όπου

$k$  = η σταθερά Boltzmann

$T$  = η απόλυτη θερμοκρασία

$n$  = το ιζώδες του μέσου διασποράς

$r$  = η ακτίνα του σωματιδίου

## **B. Καθίζηση ή άνοδος των μικκυλίων**

Τα μικκύλια καθιζάνουν αργά προς τον πυθμένα του δοχείου από την επίδραση της βαρύτητας. Έτσι, δημιουργείται μια διάκριση ως προς τη συγκέντρωση των μικκυλίων στον πυθμένα του δοχείου, που είναι σε επάρκεια και αυτών στην επιφάνεια του μέσου διασποράς, που βαίνει μειούμενη. Η διάκριση αυτή ισχύει, όταν το ειδικό βάρος της διεσπαρμένης ουσίας είναι μεγαλύτερο από το ειδικό βάρος του μέσου διασποράς, σε διαφορετική περίπτωση αλλιώς τα μικκύλια ανεβαίνουν προς την επιφάνεια και η κατανομή των συγκεντρώσεων είναι αντίστροφη.

## **Γ. Υπερφυγοκέντρωση**

Η ταχύτητα κατακάθισης μπορεί να επιταχυνθεί και με υπερφυγοκέντρωση, οπότε το  $g$  (επιτάχυνση της βαρύτητας) μπορεί να αυξηθεί και κατά 1.000.000 φορές. Με την υπερφυγοκέντρωση, βρίσκεται πιο γρήγορα η ακτίνα του μικκυλίου. Η μέθοδος χρησιμεύει και για τον ταχύτερο διαχωρισμό της ουσίας σε διασπορά από το μέσο διασποράς.

### **1.5.4. Ομαδικές ιδιότητες**

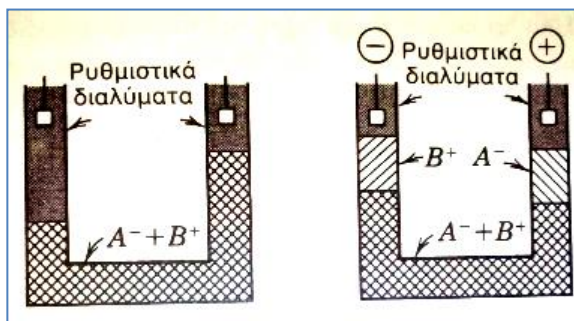
Αναφέρονται οι ιδιότητες, που συνδέονται με τον αριθμό των σωματιδίων σε διασπορά και όχι με τη φύση τους. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ λυόφιλων και λυόφοβων κolloειδών. Οι ομαδικές ιδιότητες του μέσου διασποράς επηρεάζονται σχετικά από την κατάσταση της ύλης σε διασπορά, λόγω του μικρού ποσοστού σωματιδίων. Επομένως, η ταπείνωση της τάσης ατμών, η ταπείνωση του σημείου πήξης, η ανύψωση του σημείου βρασμού είναι ελάχιστη. Η μοναδική μεταβολή ομαδικής ιδιότητας, είναι η ωσμωτική πίεση.

### 1.5.5. Ηλεκτρικές ιδιότητες

#### A. Ηλεκτροφόρηση

Η ηλεκτροφόρηση (electrophoresis) είναι μια τεχνική διαχωρισμού ηλεκτρικά φορισμένων σωματιδίων (ιόντων, κolloειδών, μακρομοριακών ιόντων ή άλλων σωματιδίων της ύλης) σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (Pescok, Shields, Cairns, McWilliam, 1980), που στηρίζεται στη διαφορετική ταχύτητα όδευσης των σωματιδίων (Skoog, Holler, Groug, 2007). Οι διαφορές στην ταχύτητα κίνησης των σωματιδίων αποτελούν διαδικασία διαχωρισμού κolloειδών, όπως πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, καθώς και για το χαρακτηρισμό αυτών των συστατικών. Τα ηλεκτρόδια λευκόχρυσου χρησιμοποιούνται για την επενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου.

Ο Arne Tiselius, το 1937, ανακάλυψε μια τεχνική ανάλυση μίγματος πρωτεϊνών με τη χρήση σωλήνα σχήματος U και εφαρμογή ηλεκτροδίων στα άκρα του. ο οποίος τοποθετώντας τα μίγματα πρωτεϊνών μεταξύ ρυθμιστικών διαλυμάτων σε ένα σωλήνα και εφαρμόζοντας ηλεκτρικό



πεδίο, διαπίστωσε ότι τα συστατικά του δείγματος μετανάστευσαν σε μια κατεύθυνση και με ένα ρυθμό, ο οποίος καθορίζεται από το φορτίο και την ευκινησία τους. Ο ηλεκτροφορητικός διαχωρισμός εκτελείται με την τοποθέτηση μικρής ζώνης δείγματος σε ρυθμιστικό διάλυμα, που περιέχεται σε στενό σωλήνα, είτε σε πηκτή.

Με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος, τα φορισμένα σωματίδια μετακινούνται προς το κατάλληλο ηλεκτρόδιο. Η μεταβολή του χρώματος ή δείκτη διάθλασης αποτελούν ενδείξεις διαχωρισμού των συστατικών. Στην ηλεκτροφόρηση έχουν στηριχθεί διαδικασίες διαχωρισμού δύσκολων καταστάσεων, όπως ανόργανα ανιόντα και κατιόντα, αμινοξέα, φάρμακα, βιταμίνες, υδατάνθρακες, πεπτίδια, πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα και διάφορες άλλες ουσίες. Η αξία της ηλεκτροφόρησης είναι σημαντική στη βιοχημεία, τη βιολογική και βιοϊατρική έρευνα, λόγω της δυνατότητας διαχωρισμού μακρομορίων. Αποτέλεσε για πολλά χρόνια ως η βασική αποτελεσματική μέθοδος διαχωρισμού πρωτεϊνών (ενζύμων, ορμονών, αντισωμάτων) και νουκλεϊκών οξέων (DNA, RNA).

Ο διαχωρισμός στην ηλεκτροφόρηση βασίζεται στην ταχύτητα της μετανάστευσης των ιόντων, η οποία εκφράζεται με την εξίσωση:

$$v = \mu_e * E$$

Όπου:

$v$  = ταχύτητα μετανάστευσης του ιόντος ή ηλεκτροφορητική ταχύτητα (cm/s)

$\mu_e$  = ηλεκτροφορητική ευκινησία (cm<sup>2</sup> /V\*s)

$E$  = ένταση ηλεκτρικού πεδίου (V/cm)

Η ηλεκτροφορητική ευκινησία είναι ανάλογη του ιοντικού φορτίου του αναλύτη και αντιστρόφως ανάλογη των επιβραδυντικών παραγόντων της τριβής. Το ηλεκτρικό πεδίο επιδρά μόνο στα ιόντα. Δυο ουσίες θα διαχωριστούν είτε λόγω του φορτίου τους, είτε λόγω της τριβής, που εμφανίζεται κατά την κίνησή τους στο ρυθμιστικό μέσο. Η ηλεκτρική δύναμη δρα υπέρ της κίνησης, ενώ η δύναμη τριβής κατά της κίνησης του ιόντος. Δεδομένου ότι αυτές οι δυνάμεις είναι σε μια σταθερή κατάσταση κατά τη διάρκεια της ηλεκτροφόρησης, η ηλεκτροφορητική ευκινησία είναι μια σταθερά (για ένα δεδομένο ιόν υπό δεδομένες συνθήκες). Η εξίσωση που περιγράφει την ηλεκτροφορητική ευκινησία είναι:

$$\mu_e = \frac{q}{6\pi\eta r}$$

όπου  $q$  = φορτίο του ιόντος

$\eta$  = ιξώδες του διαλύματος

$r$  = ακτίνα του ιόντος.

Το φορτίο του ιόντος  $q$  είναι σταθερό για πλήρως διστάμενα ιόντα, όπως ισχυρά οξέα ή μικρά ιόντα, αλλά μπορεί να επηρεαστεί από μεταβολές του pH στην περίπτωση των ασθενών οξέων ή βάσεων. Η ακτίνα του ιόντος  $r$  μπορεί να επηρεαστεί από ιόν αντίθετου φορτίου που βρίσκεται στο διάλυμα, ή από οποιουσδήποτε συμπλοκοποιητές που χρησιμοποιούνται. Από την παραπάνω εξίσωση φαίνεται ότι, οι διαφορές στην ηλεκτροφορητική ευκινησία προκαλούνται από διαφορές στην αναλογία φορτίου - προς - μέγεθος των ιόντων του δείγματος. Μεγαλύτερο φορτίο και μικρότερο μέγεθος ιόντος προσδίδουν μεγαλύτερη ευκινησία, ενώ χαμηλότερο φορτίο και μεγαλύτερο μέγεθος προσδίδουν μικρότερη ευκινησία.

Σε κάθε διεπιφάνεια στερεού-υγρού και συνεπώς στη επιφάνεια κάθε κολλοειδούς σωματιδίου, όπου υπάρχει επαφή στερεού με το υγρό, σχηματίζεται μια ηλεκτρική διπλοστοιβάδα από θετικά και αρνητικά φορτία. Στο στερεό υπάρχουν θετικά ή αρνητικά ιόντα, οπότε σχηματίζεται ένα σταθερό στρώμα. Στη συνέχεια υπάρχει μια κινητή στοιβάδα διάχυσης, που φθάνει μέχρι τη βασική μάζα του διαλύματος. Λόγω ύπαρξης ηλεκτρικών φορτίων δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ σταθερού στρώματος και

της κινητή στοιβάδα διάχυσης. Η απόσταση μεταξύ σταθερού στρώματος και της κινητή στοιβάδα διάχυσης καλείται ηλεκτροκινητικό δυναμικό ή δυναμικό ζ. (Καραϊσκάκης Γ, Φυσικοχημεία, 1995, σελ.460). Στα κολλοειδή σωματίδια, η κινητή στοιβάδα διάχυσης αφορά στα φορτισμένα ιόντα του διαλύματος, ενώ το σταθερό τμήμα της διπλοστοιβάδας αφορά στα αντίθετα φορτισμένα ιόντα, που προσροφώνται από τα σωματίδια. Λόγω της διαφορετικής πολικότητας των στοιβάδων δημιουργούνται απωστικές δυνάμεις, που είναι υπεύθυνες για τη σταθερότητα των κολλοειδών, ενώ παράλληλα εμποδίζουν τα σωματίδια να συσσωματωθούν. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού φορτίου και με την προσρόφηση ενός αντίθετα φορτισμένου ιόντος, το ηλεκτροκινητικό δυναμικό ζ ελαττώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη μείωση των απωστικών δυνάμεων των σωματιδίων και στη συνέχεια σε καταβύθιση. Το ηλεκτροκινητικό δυναμικό ζ συνδέεται με την ηλεκτροφορητική κινητικότητα  $u$ , σύμφωνα με τις προσεγγίσεις διαφόρων επιστημόνων, υπολογίζεται και αποτυπώνεται στους ακόλουθους τύπους, ήτοι:

α) Εξίσωση Helmholtz και Debye – Hückel:

$$u = \frac{\zeta \epsilon V}{6\pi\eta l(300)^2}$$

Όπου

$\zeta$  = το ηλεκτροκινητικό δυναμικό

$V$  = η επενεργούμενη τάση

$\epsilon$  = η διηλεκτρική σταθερά του μέσου διασποράς

$r$  = η ακτίνα του μικκυλίου

$l$  = η απόσταση των ηλεκτροδίων

β) Εξίσωση Helmholtz – Smoluchowski:

$$u = \frac{\epsilon \zeta}{4\pi\eta}$$

Όπου

$\zeta$  = το ηλεκτροκινητικό δυναμικό

$\epsilon$  = η διηλεκτρική σταθερά του μέσου διασποράς

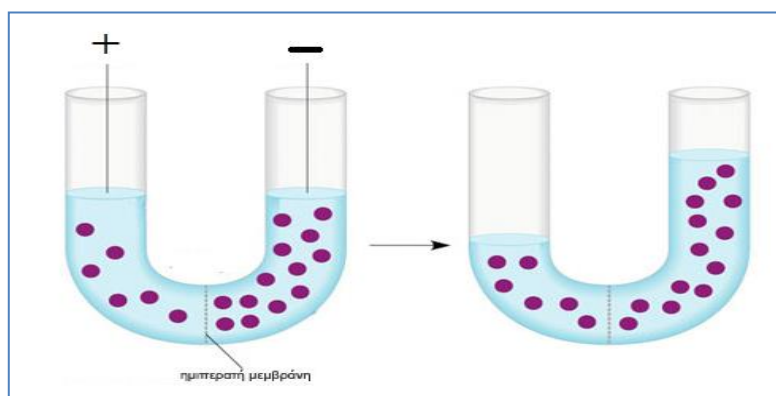
$n$  = το ιζώδες του μέσου διασποράς

Οι διαχωρισμοί ηλεκτροφόρησης διακρίνονται σήμερα σε: α) ηλεκτροφόρηση πλάκας (slab electrophoresis) και β) ηλεκτροφόρηση τριχοειδούς (capillary electrophoresis). Η ηλεκτροφόρηση πλάκας αποτελεί την κλασσικό τρόπο για το διαχωρισμό πολύπλοκων μιγμάτων ουσιών μεγάλου μοριακού βάρους, βιολογικού και βιοχημικού ενδιαφέροντος.

Η ηλεκτροφόρηση τριχοειδούς, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του '80 είναι σημαντικό εργαλείο για την επίλυση ποικιλίας προβλημάτων αναλυτικών διαχωρισμών

## **B. Ηλεκτρώσμωση**

Ώσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της διέλευσης περισσότερων μορίων διαλύτη, μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από τον διαλύτη στο διάλυμα ή από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (αραιότερο) προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε διαλυμένη ουσία (πυκνότερο). Πρόκειται για μια φυσική διαδικασία κατά την οποία μόνο τα μόρια του διαλύτη διαπερνούν την μεμβράνη, ενώ τα μόρια της διαλυμένης ουσίας όχι. Χωρίς την ύπαρξη της μεμβράνης θα συνέβαινε απλή ανάμιξη των δύο διαλυμάτων ή του διαλύτη και του διαλύματος. Αν από την ημιπερατή μεμβράνη περνά και διαλυμένη ουσία, τότε η διαδικασία παύει να είναι ώσμωση και γίνεται μεταξύ των δύο διαλυμάτων. Η ώσμωση πραγματοποιείται με σκοπό να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων από τις δύο πλευρές της ημιπερατής μεμβράνης. Το φαινόμενο της ώσμωσης είναι πολύ σημαντικό στα διάφορα βιολογικά συστήματα, καθώς πολλές βιολογικές μεμβράνες είναι ημιπερατές. Αναφορικά με το φαινόμενο της ώσμωσης στα κολλοειδή, η ώσμωση μπορεί να μεταβληθεί με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος, όταν το υγρό που παθαίνει ώσμωση, είναι μέσο διασποράς κολλοειδούς. Στις συνθήκες αυτές εκτός από τη φόρτιση των ημιπερατών μεμβρανών και του υγρού μέσου που παρουσιάζεται και κατά την συνηθισμένη ώσμωση, το φαινόμενο επηρεάζεται και απ' την παρουσία των φορτισμένων μικκυλίων και των αντίθετων ισοδύναμων φορτίων του μέσου διασποράς. Η ώσμωση, που εμφανίζεται με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος καλείται ηλεκτρώσμωση. Ηλεκτρώσμωση είναι η διέλευση του μέσου διασποράς από πορώδες ή ημιπερατού διαφράγματος με την επενέργεια ηλεκτρικού φορτίου με παράλληλη παρεμπόδισης της ηλεκτροφόρησης των κολλοειδών σωματιδίων (Καραϊσκάκης Γ, Φυσικοχημεία, 1995 σελ.461).



**Εικόνα 1 : Φαινόμενο της ώσμωσης**

Σε μια διάταξη, με την επενέργεια ηλεκτρικού συνεχούς φορτίου μέσω ηλεκτροδίων και λόγω αντίθετης πολικότητας σωματιδίων και μέσου διασποράς, παρατηρείται ροή με τη δίοδο του μέσου διασποράς διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης στην μια πλευρά της. Η παρουσία ηλεκτρολυτών μπορεί να επηρεάσει αφενός την ταχύτητα όδευσης ή και τη διεύθυνση ροής.

Η μέγιστη ανύψωση  $h$ , μετά την αναστολή της ηλεκτρώσμωσης, εκφράζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$h = \frac{2\zeta * V * \varepsilon}{\pi * r * \rho * g}$$

Όπου

$\zeta$  = το ηλεκτροκινητικό δυναμικό των κολλοειδών συστατικών της μεμβράνης ή του διαφράγματος (για διάλυμα) ή συνδυασμός του δυναμικού αυτού και του δυναμικού των μικκυλίων, που ακινητοποιήθηκαν στη μεμβράνη στην περίπτωση κολλοειδούς συστήματος

$V$  = η επενεργούμενη τάση

$\varepsilon$  = η διηλεκτρική σταθερά του μέσου διασποράς

$r$  = η ακτίνα του πόρου της μεμβράνης

$\rho$  = η πυκνότητα του υγρού μέσου διασποράς

$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας

Αν το μέσο διασποράς φορτίζεται, δηλαδή ο θετικός πόλος στο μέσο και ο αρνητικός στο διάλυμα ή στο κολλοειδές σύστημα, η ώσμωση αυξάνεται. Ενώ, όταν αντιστρέφονται οι πόλοι, η ώσμωση σταματάει ή αντιστρέφεται. Και στις δύο εκδοχές το φαινόμενο παρακολουθείται με την ανύψωση ή ελάττωση της στάθμης των υγρών. Ειδικότερα, η περίπτωση που το μέσο διασποράς βγαίνει από το κολλοειδές σύστημα ή το διάλυμα, αναφέρει το φαινόμενο της «ηλεκτροεξώσμωσης» και αντίστοιχα της «ηλεκτροενδώσμωσης».

Με τη χρήση αυτού του τύπου και με τη μέτρηση του ύψους, προσδιορίζεται το ένα από τα έξι μεγέθη. Μεγάλη σημασία δείχνει να εμφανίζει η δυνατότητα προσδιορισμού της ακτίνας των πόρων του διαφράγματος και είναι μία έμμεση μέθοδος. Το μέγεθος των πόρων μπορεί να μετρηθεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Το φαινόμενο της ηλεκτρώσμωσης παίζει σημαντικό ρόλο, κατά τη διαδικασία των ηλεκτρολύσεων με διάφραγμα και για αυτό χρειάζεται η γνώση της μεγαλύτερης ανύψωσης. Συνεπώς, τα δύο υγρά δεξιά και αριστερά από το διάφραγμα τοποθετούνται απ' την αρχή με διαφορά στάθμης και δεν πραγματοποιείται ηλεκτρώσμωση. Εκτός από το φαινόμενο της

ηλεκτρώσμωσης, πραγματοποιούνται διηθήσεις και αφυγράνσεις, εξαιτίας της ενισχυμένης συγκράτησης του νερού στους κόκκους των ουσιών. Έτσι, απομακρύνεται με ηλεκτρώσμωση το νερό.

### Γ. Δυναμικό ροής

Ο εξαναγκασμός διέλευσης του μέσου διασποράς διαμέσου ημιπερατού διαφράγματος ή από τριχοειδή σωλήνα δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού, το δε φαινόμενο αυτό καλείται «φαινόμενο ρέοντος δυναμικού» (streaming potential), που είναι αντίθετο της ηλεκτρώσμωσης. Αυτό οφείλεται στην έντονη τριβή μεταξύ του υγρού και του σωλήνα, με αποτέλεσμα να φορτίζονται και τα δύο, ταυτόχρονα, με αντίθετα φορτία και το φορτισμένο υγρό που βρίσκεται σε ροή αποτελεί ηλεκτρικό ρεύμα.

Το φαινόμενο είναι πιο έντονο, δηλαδή όταν υπάρχει μεγαλύτερη διαφορά δυναμικού, αν χρησιμοποιηθεί κολλοειδές σύστημα.

Ο τύπος, που ισχύει για ροή κολλοειδών, είναι ο ακόλουθος:

$$V = \frac{P * \zeta * \epsilon}{2\pi n * l}$$

όπου

$P$  = η πίεση για τον εξαναγκασμό του υγρού για ροή

$\zeta$  = το ηλεκτροκινητικό δυναμικό

$V$  = το δυναμικό που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτροδίων

$\epsilon$  = η διηλεκτρική σταθερά του μέσου διασποράς

$n$  = το ιζώδες του μέσου διασποράς

$l$  = το μήκος του τριχοειδούς

### Δ. Δυναμικό πτώσης

Η πτώση της ύλης κολλοειδών διαστάσεων από ύψος έχει ως αποτέλεσμα τη φόρτιση των μικκυλίων των κολλοειδών, ασχέτως της κατάστασης της ύλης (υγρή ή στερεά). Έτσι τα μικκύλια που φορτίζονται με την τριβή, δημιουργούν διαφορά δυναμικού μεταξύ αρχικού και τελικού επίπεδου πτώσης. Το φαινόμενο του δυναμικού λέγεται δυναμικό πτώσης και είναι 25 V για κάθε 10 μέτρα ύψους πτώσης.

## 1.6. Καταστροφή των κολλοειδών συστημάτων

Κροκίδωση (θρόμβωση) των κολλοειδών καλείται το φαινόμενο της καταστροφής των κολλοειδών συστημάτων διασποράς και της καταβύθισης της διασπαρμένης ουσίας υπό μορφή ιζήματος. Η θρόμβωση των κολλοειδών επιτυγχάνεται συνήθως, με την



εξουδετέρωση του φορτίου τους. Η εξουδετέρωση του φορτίου των κολλοειδών σωματιδίων μπορεί να επιτευχθεί με προσθήκη ηλεκτρολύτη στο διάλυμα διασποράς. Κατά την προσθήκη του ηλεκτρολύτη τα κολλοειδή σωματίδια προσροφούν ιόντα με φορτίο αντίθετο από αυτό που έχουν, με αποτέλεσμα την εξουδετέρωση του φορτίου των σωματιδίων.

Η θρόμβωση των κολλοειδών επιτυγχάνεται, επίσης με την ανάμειξη κολλοειδών συστημάτων που έχουν αντίθετο φορτίο. Έτσι το ένα συμβάλλει στη θρόμβωση του άλλου. Παρά την αυτοάμυνα των κολλοειδών συστημάτων, ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος είναι αμείλικτος και παρουσιάζεται αυθόρμητη καταστροφή των κολλοειδών συστημάτων, ιδιαίτερα των λυόφοβων. Η καταστροφή αυτή είναι δυνατό να προκύψει και με εξωτερική – σκόπιμη ή όχι επιθυμητή – επέμβαση.

#### **1.6.1. Αυθόρμητη κροκίδωση**

Αυτή πραγματοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο: οι συγκρούσεις των μικκυλίων μεταξύ τους είναι στιγμιαίες και συγχρόνως ελαστικές και δε δίνεται η ευκαιρία στην άσκηση για μακρύτερο χρονικό διάστημα των δυνάμεων συνοχής της ύλης, απ' όπου αποτελούνται. Αν όμως οι συγκρούσεις αυτές είναι τριπλές (συγχρόνως μεταξύ τριών μικκυλίων), τότε είναι δυνατό δύο απ' αυτά τα μικκύλια να χάσουν κινητική ενέργεια υπέρ του τρίτου μικκυλίου. Η ελάττωση αυτή της κινητικότητας των δύο μικκυλίων έχει ως συνέπεια την επί μακρύτερο χρονικό διάστημα άσκηση μεταξύ των δυνάμεων συνοχής και τη συσσωμάτωσή τους σε ένα κόκκο (ή μία σταγόνα ή φυσαλίδα).

#### **1.6.2. Εκβιασμένη κροκίδωση**

Σύμφωνα με τα αίτια σχετικής σταθερότητας των κολλοειδών συστημάτων και τον μηχανισμό της αυθόρμητης κροκίδωσης, για να καταστρέψουμε, κροκιδώσουμε, ένα κολλοειδές σύστημα, θα πρέπει να εξουδετερώσουμε ένα ή περισσότερα αίτια της σταθερότητάς τους. Έτσι, οι μέθοδοι κροκίδωσης ανήκουν στις μεθόδους, που επεμβαίνουν στην κινητικότητα των μικκυλίων ή που ευνοούν τις τριπλές συγκρούσεις και στις μεθόδους εξουδετέρωσης των φορτίων των μικκυλίων και, για λυόφιλα κολλοειδή, στις μεθόδους απαλλαγής των μικκυλίων από την προσαρτημένη στοιβάδα του μέσου διασποράς.

## 1.7. Γαλακτώματα

Σύμφωνα με τον International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), ως γαλάκτωμα ορίζεται ένα υγρό κολλοειδές σύστημα, στο οποίο διασκορπίζονται μη αναμίξιμα υγρά σωματίδια ή/και υγροί κρύσταλλοι σε ένα υγρό, δηλ. η κολλοειδής διασπορά ενός υγρού σε ένα άλλο μη αναμίξιμο υγρό καλείται γαλάκτωμα (emulsion). Η λέξη γαλάκτωμα προέρχεται από τη λατινική λέξη *mulgeo*, που σημαίνει "στο γάλα" και στην περίπτωση αυτή το γάλα αποτελεί ένα παράδειγμα γαλακτώματος λίπους και νερού. Πολλές φορές, οι όροι «κολλοειδές» και «γαλάκτωμα» χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, ωστόσο ο όρος «γαλάκτωμα» πρέπει να χρησιμοποιείται, όταν το μέσο διασποράς και η διεσπαρμένη φάση είναι υγρά. Τα γαλακτώματα παρασκευάζονται με ανάδευση δυο υγρών ή με τη διέλευση του υγρού μίγματος από τον ομογενοποιητή, ήτοι τον κολλοειδή μύλο. Ο κολλοειδής μύλος είναι μια μηχανή που λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες (2000 - 18000 rpm) και χρησιμοποιείται για τη μείωση του μεγέθους σωματιδίων ενός στερεού εναιωρήματος σε ένα υγρό ή για τη μείωση του μεγέθους των σταγονιδίων ενός υγρού εναιωρούμενου σε άλλο υγρό.

Τα γαλακτώματα δεν παρουσιάζουν στατική εσωτερική δομή. Ειδικότερα, τα γαλακτώματα, που προέρχονται από καθαρά υγρά είναι ασταθή και καθιζάνουν εύκολα. Για να εμποδιστεί η καταβύθιση των σωματιδίων, κατά τη διάρκεια της παρασκευής τους, γίνεται πρόσθεση κάποιων ουσιών σε μικρές ποσότητες, που καλούνται αντιδραστήρια γαλακτωματοποίησης (emulsifying agents) ή γαλακτωματοποιητές (emulsifiers), η δε διαδικασία μετατροπής ενός υγρού μίγματος σε γαλάκτωμα ονομάζεται γαλακτωματοποίηση (emulsification). Ως γαλακτωματοποιητής ορίζεται μια ουσία που σταθεροποιεί ένα γαλάκτωμα και αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία για να περιγράψει οποιαδήποτε επιφανειοδραστική ουσία, που μπορεί να προσροφηθεί στη διεπιφάνεια ελαίου – ύδατος και να αναστείλει την αποσταθεροποίηση του γαλακτώματος. Η λεκιθίνη, η μουστάρδα, τα απορρυπαντικά κ.ά. αποτελούν μερικά παραδείγματα γαλακτωματοποιητών.

Δύο υγρά μπορούν να σχηματίσουν διαφορετικούς τύπους γαλακτωμάτων. Για παράδειγμα, το έλαιο και το νερό μπορούν να σχηματίζουν: α) ένα γαλάκτωμα ελαίου σε νερό (o/w), όπου το έλαιο είναι η διεσπαρμένη φάση και το νερό είναι το μέσο διασποράς και β) ένα γαλάκτωμα νερού σε λάδι (w/o), όπου το νερό είναι η διεσπαρμένη φάση και το έλαιο είναι το μέσο διασποράς. Ο τύπος του γαλακτώματος εξαρτάται από τη σχετική αναλογία των 2 υγρών του μίγματος. Το υγρό σε περίσσεια είναι το μέσο διασποράς ή εξωτερική φάση και το άλλο είναι η διεσπαρμένη ή εσωτερική φάση. Εάν έλαιο και νερό αναμιχθούν και αναταραχθούν ισχυρά, τα δύο υγρά διασπείρονται το ένα στη μάζα του

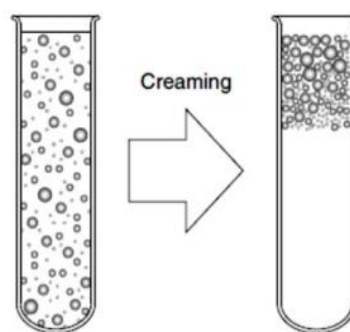
άλλου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία γαλακτώματος. Ένα τέτοιο γαλάκτωμα δεν είναι σταθερό, γιατί τα σταγονίδια της διεσπαρμένης φάσης τείνουν να συσσωματωθούν, με αποτέλεσμα την καταστροφή του γαλακτώματος και το διαχωρισμό των δύο φάσεων.

Τα γαλακτώματα συνήθως παρουσιάζονται λευκά, λόγω του διασκορπισμού του φωτός μεταξύ των συστατικών του μίγματος. Τα αραιωμένα γαλακτώματα μπορεί να εμφανίζονται ελαφρώς μπλε, επειδή το φως με χαμηλό μήκος κύματος είναι περισσότερο διάσπαρτο. Η εικόνα ενός γαλακτώματος εξαρτάται από τη διάμετρο των σωματιδίων των φάσεων. Εάν η διάμετρός τους είναι μεταξύ 0.15 μm και 100 μm, τότε το γαλάκτωμα έχει θολή - γαλακτώδη εμφάνιση. Η ιδιομορφία τέτοιων συστημάτων είναι ότι τα διεσπαρμένα σωματίδια ενός υγρού σε υγρό μέσο διασποράς έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις των κολλοειδών, είτε λόγω μη μηχανικής ανακίνησης του συστήματος, είτε λόγω της μικρής διαφοράς ειδικού βάρους μεταξύ των σωματιδίων και υγρού μέσου διασποράς. Επίσης τα σωματίδια έχουν σχεδόν όλες τις ιδιότητες των κολλοειδών συστημάτων, δηλ. είναι φορτισμένα, πραγματοποιούν κίνηση Brown και παρουσιάζουν το φαινόμενο Tyndall. Τα γαλακτώματα μπορούν να διασπαστούν στα υγρά που συντέθηκαν με θέρμανση, ψύξη, φυγοκέντρηση, προσθήκη ορισμένης ποσότητας ηλεκτρολύτη και χημική διάσπαση του γαλακτωματοποιητή (Καραϊσκάκης, Φυσικοχημεία, 2005, σελ. 467).

Μέθοδος παρασκευής γαλακτωμάτων, όπως και πραγματικών κολλοειδών γαλακτωμάτων, είναι η μηχανική πέψη με μέσο πέψης γαλακτωματοποιά μέσα, όπως τα οξέα, τα λυόφιλα κολλοειδή κ.ά.. Η μηχανική πέψη γίνεται με ανάμιξη σε γουδί, με κολλοειδόμυλο ή με χρησιμοποίηση εκνεφωτή. Στα γαλακτώματα δεν είναι δυνατός ο διαχωρισμός, κατά την παρασκευή τους, ποιο από τα υγρά θα είναι η διεσπαρμένη ουσία και ποιο το μέσο διασποράς.

Μετά την παρασκευή του γαλακτώματος, υφίσταται η δυνατότητα «αντιστροφής», η διεσπαρμένη ουσία να μετατραπεί σε μέσο διασποράς, με αλλαγή της θερμοκρασίας ή με την προσθήκη κατάλληλου ηλεκτρολύτη

(Καραϊσκάκης, Φυσικοχημεία, 2005, σελ. 467). Εκτός από την διάσπαση και την αντιστροφή των φάσεων, ένα γαλάκτωμα μπορεί να υποστεί κρεμοποίηση (creaming), δηλ. ο διαχωρισμός του γαλακτώματος σε 2 ή περισσότερες στοιβάδες, που διαφέρουν μεταξύ τους και οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας της διεσπαρμένης φάσης και του μέσου διασποράς. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο αυθόρμητος διαχωρισμός του γάλακτος σε κρέμα και αποβουτυρωμένο γάλα.



## Παραδείγματα γαλακτωμάτων

Το πιο γνωστό φυσικό γαλάκτωμα είναι το γάλα, που αποτελεί σύστημα λίπους σε υδατικό διάλυμα καζεϊνικού ασβεστίου, λακτόζης, λευκωμάτων, μεταλλικών αλάτων, βιταμινών κ.τ.λ. Επίσης, το βούτυρο είναι ένα γαλάκτωμα νερού σε λίπος. Ο κρόκος αυγού είναι ένα γαλάκτωμα που περιέχει τη γαλακτωματοποιητική λεκιθίνη και η μαγιονέζα είναι ένα γαλάκτωμα ελαίου σε νερό που σταθεροποιείται από τη λεκιθίνη στον κρόκο αυγού.

Σε άλλους τομείς δραστηριοτήτων, γαλάκτωμα ασφάλτου ή πίσσας σε νερό χρησιμοποιούνται για την ψυχρή επίστρωση των δρόμων, γαλάκτωμα ορυκτέλαιου σε νερό χρησιμεύει για την ψύξη και λίπανση των διατρητικών ή κοπτικών οργάνων μετάλλων. Ακόμη, στη γεωργία χρησιμοποιούνται γαλακτώματα πετρελαίου σε νερό ως παρασιτοκτόνα.

## Κεφάλαιο 2 : Κολλοειδή στην καθημερινότητα, προϊόντα ζωικής προέλευσης και μεθοδολογίες παρασκευής κολλοειδών

### 2.1. Η σπουδαιότητα των κολλοειδών συστημάτων στην καθημερινότητα

Η σπουδαιότητα των κολλοειδών συστημάτων στην καθημερινή ζωή, παρά το γεγονός ότι δεν είναι άμεσα αντιληπτά στον άνθρωπο, είναι αδιαμφισβήτητη, αφού συναντώνται στα τρόφιμα, στα φάρμακα, στη φύση, στη βιομηχανία και αλλού. Η αξία των κολλοειδών συστημάτων είναι ιδιαίτερη σημαντική σε πολλούς τομείς της οικονομίας και των επιστημών, όπως σχηματικά αποτυπώνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2

Η σημασία των κολλοειδών συστημάτων σε διάφορους τομείς παρατίθεται συνοπτικά, ήτοι:

#### Α. Στην οικιακή οικονομία

Μεγάλος αριθμός ειδών διατροφής στην καθημερινή μας ζωή αποτελούνται από κολλοειδή συστήματα, όπως είναι το γάλα, το βούτυρο, το κρέας, το ψωμί και τα παγωτά. Το γάλα είναι γαλάκτωμα (υγρό σε υγρό κολλοειδές σύστημα), όπου το βούτυρο και το λίπος διασκορπίζονται στο νερό, σταθεροποιημένο με την καζεΐνη, πρωτεΐνη του γάλακτος. Το παγωτό είναι διεσπαρμένα κολλοειδή σωματίδια πάγου σε κρέμα. Το ψωμί είναι κολλοειδές σύστημα, στο οποίο ο αέρας διασκορπίζεται σε ψημένη ζύμη. Κολλοειδές σύστημα τανίνης και χρωστικών σε νερό και οινόπνευμα είναι το κρασί, η δε παλαιώση του και οι αλλοιώσεις του οφείλονται σε κροκιδώσεις. Ακόμη διάφορες μαγειρικές κρέμες, όπως η μαγιονέζα, η bechamell, η chantilly είναι κολλοειδή συστήματα.

Επίσης για καθαριστική χρήση, το διάλυμα σαπουνιού είναι ένα κολλοειδές σύστημα και

αφαιρεί το έλαιο και τη βρωμιά σχηματίζοντας υδατοδιαλυτά γαλακτώματα.

## **B. Στη βιομηχανία**

Βασικό μέλημα της φαρμακευτικής βιομηχανίας είναι η αποτελεσματικότητα των προϊόντων τους, χωρίς παρενέργειες για τους ασθενείς. Τα φάρμακα σε μορφή γαλακτώματος είναι κολλοειδή και απορροφώνται εύκολα από το σώμα, όπως πχ. τα αντιβιοτικά πενικιλίνη και στρεπτομυκίνη εγχέονται στο σώμα με τη μορφή κολλοειδούς υδρολύματος.

Στη βιομηχανία δομικών υλικών και ειδικότερα στην υαλουργία, το γυαλί αποτελεί κολλοειδές πήγμα, που παράχθηκε κάτω από κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Στην κεραμοποιία, ο άργιλος που χρησιμοποιείται, περιέχει κολλοειδείς οργανομεταλλικές ενώσεις, στοιχείο που δίνει πλαστικότητα στο υλικό. Ο καολίνης, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή πορσελάνης, είναι κολλοειδής.

Στη βιομηχανία υφασμάτων και ειδικότερα στην παραγωγή τεχνητής μέταξας, η κροκίδωση της βισκόζης είναι η κυριότερη πράξη σε σχέση με κολλοειδείς μετασχηματισμούς. Η βαφή των υφασμάτων, χωρίς πρόστυμμα (χημική ένωση μεταξύ δυο σωμάτων τα οποία δεν έχουν καμία χημική συγγένεια μεταξύ τους) αποτελεί κροκίδωση των μικκυλίων των χρωστικών. Άλλες οργανικές χρωστικές, αν διαλυθούν σε νερό, αποτελούν κολλοειδή συστήματα. Το άμυλο σχηματίζει με νερό σε κατάλληλη θερμοκρασία, που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των υφασμάτων πριν τη βαφή. Η αλβουμίνη και η ζελατίνη σχηματίζουν με νερό πηκτές, που χρησιμοποιούνται ως συγκολλητικές ουσίες, για το «κολλάρισμα» των υφάνσιμων ινών.

Στη βιομηχανία ελαστικών και ειδικότερα στην παραγωγή ελαστικού, αυτό προέρχεται από το λατέξ, το οποίο είναι γαλάκτωμα, στο οποίο διασκορπίζονται σε νερό αρνητικά φορτισμένα σωματίδια καουτσούκ. Για τη λήψη του καουτσούκ, το λατέξ βράζει, εκ του οποίου λαμβάνονται τα πηγμένα σωματίδια καουτσούκ. Αυτή η πηκτωμένη μάζα στη συνέχεια βουλκανίζεται για να στερεοποιηθεί ως φυσικό καουτσούκ.

Στη βιομηχανία δερματίνων ειδών και ειδικότερα σε ότι αφορά της διαδικασίας βαφής των δερμάτων, επειδή το δέρμα των ζώων είναι επίσης ένα κολλοειδές σύστημα στο οποίο τα κολλοειδή σωματίδια είναι θετικά φορτισμένα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, τα φορτισμένα σωματίδια του δέρματος θρομβώνονται χρησιμοποιώντας αρνητικά φορτισμένο υλικό όπως τανίνη και μερικές ενώσεις αλουμινίου και χρωμίου.

## **Γ. Στη γεωργία**

Τα στρώματα του εδάφους, διαφέρουν σε φυσική και χημική σύσταση, οργανικό υλικό και δομή. Διαμορφώνονται από τις κλιματικές μεταβολές, τους ζώντες στο έδαφος οργανισμούς και την επιφανειακή διαμόρφωση, συνήθως δημιουργούνται από την εκλεκτική συγκέντρωση ή απομάκρυνση συγκεκριμένων ιόντων, κολλοειδών και χημικών ενώσεων. Τα ανόργανα κολλοειδή στο έδαφος, όπως η άργιλος, το οξειδίο του πυριτίου και το οξειδίο του αργιλίου, μαζί με τα οργανικά υλικά αποτελούν το Humus, υλικό με έντονη βιολογική δράση για την ανάπτυξη των φυτών. Με την παρουσία των κολλοειδών αυτών, που ορισμένα σχηματίζουν πηκτές, βοηθούνται οι χημικές αντιδράσεις και οι φυσικές ανταλλαγές, απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών. Τα οργανικά κύρια κολλοειδή, όπως τα υδρόφιλα και αυτά που σχηματίζουν πηκτές, συμβάλλουν στη διατήρηση της συνεκτικότητας του εδάφους και κατά τις ξηρασίες και τροφοδοτούν τα φυτά κατά τις εποχές αυτές με νερό.

Επίσης, για την υποστήριξη των γεωργικών καλλιεργειών και κατά την περίοδο ανομβρίας, υπάρχει η δυνατότητα πρόκλησης τεχνητής βροχής, αφού τα σύννεφα είναι κολλοειδές σύστημα. Στα σύννεφα, υπάρχουν μόρια νερού σε μείγμα με τα σωματίδια σκόνης. Τα μόρια νερού έχουν ηλεκτρικό φορτίο και είναι κολλοειδούς μεγέθους, με την αποφόρτιση τους ή με ψεκασμό κάποιων ηλεκτρολυτών πάνω στα σύννεφα, μπορεί να δημιουργηθεί βροχή.

Ακόμη εύφορες εκτάσεις για διάφορες γεωργικές καλλιέργειες σχηματίζονται στο Δέλτα των ποταμών, όπου επιτελούνται εκτεταμένες αποθέσεις άμμου και αργίλου. Ο σχηματισμός του Δέλτα στις εκβολές των ποταμών είναι ένα πολύ ενδιαφέρον φυσικό φαινόμενο, στο οποίο τα αρνητικά φορτισμένα κολλοειδή σωματίδια του ποταμού εξουδετερώνονται και έτσι συσσωματώνονται από τα θετικά ιόντα του αλατιού που υπάρχει στη θάλασσα. Το νερό του ποταμού περιέχει κολλοειδή σωματίδια άμμου και αργίλου που είναι αρνητικά φορτισμένα. Όταν το νερό του ποταμού έρχεται σε επαφή με το νερό της θάλασσας, το αρνητικό φορτίο που υπάρχει στα σωματίδια κολλοειδούς αργίλου που υπάρχουν στο νερό του ποταμού εξουδετερώνεται από τα θετικά φορτισμένα ιόντα που υπάρχουν στη θάλασσα, λόγω των οποίων πήζουν και εναποτίθενται στο βυθό.

## **Δ. Στις επιστήμες (ιατρική, βιολογία, χημεία κλπ)**

Τα κολλοειδή συστήματα είναι ιδιαίτερης σπουδαιότητας για την ιατρική, αφού περιλαμβάνουν τους ιστούς, το αίμα, το μεσοκυττάριο υγρό, το πρωτόπλασμα, τα τοιχώματα των κυττάρων. Το 1861 από τον Thomas Graham θεώρησε ότι «τα κολλοειδή

είναι η έδρα της ζωής». Ο βιολόγος Jacques Loeb, το 1922, θεώρησε τους ζώντες οργανισμούς ως «χημικές μηχανές που αποτελούνται κυρίως από κολλοειδή και είναι ικανές να αυξάνουν και να αναπαράγονται αυτόματα». Διάφοροι ερευνητές θεώρησαν τη γήρανση και το θάνατο ως παθολογικές καταστάσεις, που είναι αποτέλεσμα παροδικής ή μόνιμης κροκίδωσης των κολλοειδών του οργανισμού. Η προσπάθεια διατήρησης των κολλοειδών από τον οργανισμό λειτουργεί ως αυτοάμυνα. Αυτό γίνεται, γιατί τα περισσότερα από τα κολλοειδή είναι λυόφιλα, που αυτοσυντηρούνται αποτελεσματικότερα και πέπτονται ξανά, αν κροκιδωθούν βίαια. Ο οργανισμός δημιουργεί, αν χρειαστεί, μεγάλο αριθμό αιωρηματικών ουσιών και ρυθμιστικών διαλυμάτων, για τη συντήρηση αυτών των λυόφιλων κολλοειδών προς αποφυγή μεταβολής του pH . Εκτός απ' την άμυνα αυτή, που κατευθύνεται από τα νευρικά κύτταρα, ο οργανισμός αλλάζει τελείως και ανανεώνει, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, τα κολλοειδή του συστήματος με αντικατάσταση κυττάρων. Ωστόσο τα νευρικά κύτταρα, γεγονός που οδηγεί σε αργή καταστροφή τους και στη συνέχεια σε γήρανση του οργανισμού και το θάνατο.

**Καθαρισμός Νερού.** Από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους καθαρισμού του νερού είναι η προσθήκη ηλεκτρολυτών. Η προσθήκη ηλεκτρολυτών, όπως η στυπτηρία ποτάσας βασίζεται στο γεγονός ότι το ακάθαρτο νερό συνήθως σε ένα κολλοειδές σύστημα. Το ακάθαρτο νερό περιέχει κατά βάση διασκορπισμένα κολλοειδή σωματίδια τα οποία δεν μπορούν να απομακρυνθούν με διήθηση. Η προσθήκη αυτών των ηλεκτρολυτών προκαλεί την πήξη της ακαθαρσίας, που μπορεί να διαχωριστεί με διήθηση.

**Απόρριψη λυμάτων.** Τα λύματα περιέχουν σωματίδια, όπως λάσπη και ακαθαρσίες κολλοειδούς μεγέθους που διασκορπίζονται στο νερό. Όπως συμβαίνει και σε άλλα κολλοειδή συστήματα, τα κολλοειδή σωματίδια (ακαθαρσίες) των αποβλήτων φορτίζονται και στη συνέχεια με ηλεκτροφόρηση. Τα φορτισμένα σωματίδια ακαθαρσίας που υπάρχουν στο νερό αποχέτευσης μεταναστεύουν στα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα την πήξη τους.

**Καθαρισμός αέρα από καπνός.** Ο καπνός είναι επίσης ένα κολλοειδές σύστημα που αποτελείται κυρίως από φορτισμένα σωματίδια άνθρακα που πιέζονται στον αέρα. Ο καπνός είναι ένα μεγάλο πρόβλημα για το περιβάλλον, καθώς αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Για την απομάκρυνση των διεσπαρμένων κολλοειδών σωματιδίων από τον αέρα χρησιμοποιείται η διαδικασία της ηλεκτροφόρησης. Ο καπνός διέρχεται διαμέσου ενός θαλάμου ο οποίος περιέχει έναν αριθμό μεταλλικών πλακών προσαρτημένων σε ένα μεταλλικό σύρμα συνδεδεμένο με πηγή υψηλού δυναμικού. Τα ηλεκτρικά φορτισμένα κολλοειδή σωματίδια άνθρακα που υπάρχουν στον

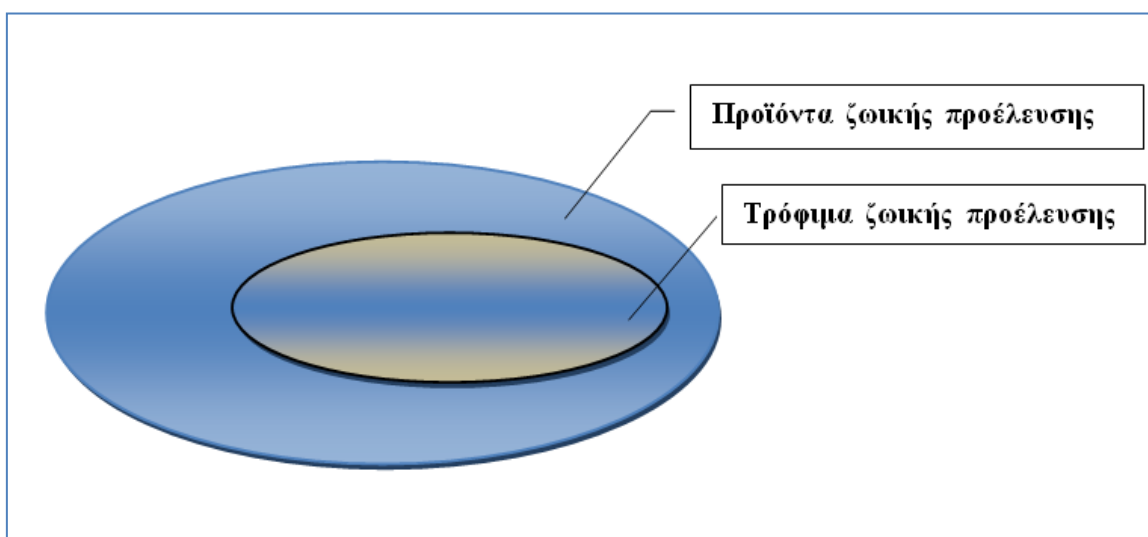


αέρα αποβάλλονται όταν έρχονται σε επαφή με τις αντίθετα φορτισμένες πλάκες και πέφτουν προς τα κάτω στον πυθμένα. Ο καθαρός θερμός αέρας εγκαταλείπει το θάλαμο από μια έξοδο κοντά στην κορυφή.

**Μπλε χρώμα του ουρανού.** Το μπλε χρώμα του ουρανού οφείλεται στη διασπορά του μπλε χρώματος του ηλιακού φωτός από τα κolloειδή σωματίδια σκόνης που είναι διασκορπισμένα στον αέρα (Φαινόμενο Tyndall).

## 2.2. Τα προϊόντα ζωικής προέλευσης

Ως προϊόντα ζωικής προέλευσης ορίζονται κάθε προϊόν, που προέρχεται από ζώα ή προϊόντα που έχουν στενή σχέση με τα ζώα και βασικά περιλαμβάνουν τα τρόφιμα ζωικής προέλευσης, όπως κρέας, αυγά, γάλα, κ.ά., καθώς και τα μεταποιημένα προϊόντα και υποπροϊόντα αυτών. Τα τρόφιμα ζωικής προέλευσης αποτελούν ένα υποσύνολο της μεγάλης κατηγορίας των προϊόντων ζωικής προέλευσης, όπως αποτυπώνεται σχηματικά και στην εικόνα 3.



Εικόνα 3

Σύμφωνα με τους Murphy SP, Allen LH. (2003), ως τρόφιμα ζωικής προέλευσης προσδιορίζονται πολλά είδη τροφίμων που προέρχονται από ζωική πηγή, όπως κρέας, γάλα, αυγά, τυρί και γιαούρτι, κ.ά., που μπορούν να παράσχουν μια ποικιλία μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών, τα οποία είναι δύσκολο να ληφθούν σε επαρκείς ποσότητες μόνο από τρόφιμα φυτικής προέλευσης, όπως βιταμίνη A, βιταμίνη B<sub>12</sub>, ριβοφλαβίνη, ασβέστιο, σίδηρο και ψευδάργυρο. Με δεδομένη τη διατροφική αξία των τροφίμων ζωικής προέλευσης, οι καταναλωτές ζητούν υψηλότερα πρότυπα όσον αφορά τη φρεσκάδα των τροφίμων, την ποικιλία και την ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένων των εγγυήσεων ποιότητας, όπως η ιχνηλασιμότητα, οι απαιτήσεις συσκευασίας και

οι έλεγχοι επεξεργασίας, έτσι ώστε να καλύπτεται το τρίπτυχο: τρόφιμα-διατροφή-υγεία. Η υψηλή ποιότητα των θρεπτικών ουσιών στα τρόφιμα ζωικής προέλευσης είναι σημαντική, καθώς αυτά απορροφώνται πιο εύκολα στο ανθρώπινο σώμα από τα χαμηλότερης ποιότητας θρεπτικά συστατικά από άλλες πηγές τροφίμων. Ο ρόλος των τροφίμων ζωικής προέλευσης ως μέρος μιας υγιεινής διατροφής απαιτεί συνεχείς επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη του κλάδου αυτού της επιστήμης των τροφίμων. Βάσει μελετών του FAO, τα τρόφιμα ζωικής προέλευσης ιδιαίτερα το κρέας, το γάλα, τα αυγά και άλλα παρέχουν όχι μόνο υψηλής ποιότητας και εύκολα αφομοιωμένη πρωτεΐνη και ενέργεια, αλλά και εύκολα απορροφήσιμα και βιοδιαθέσιμα θρεπτικά συστατικά. Αποτελούν δομικά στοιχεία της διατροφικής πυραμίδας, δεδομένης της μεγάλης θρεπτικής τους αξίας. Παρακάτω γίνεται συνοπτική περιγραφή της διατροφικής αξίας βασικών τροφίμων ζωικής προέλευσης.

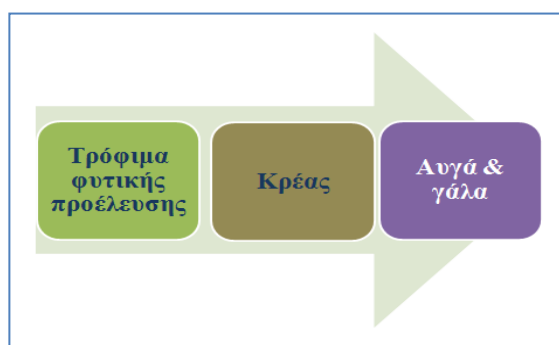
### 2.2.1. Κρέας

Ως κρέας ορίζεται ο γραμμωτός μυϊκός ιστός των ζώων, που διαβιούν ελεύθερα στο φυσικό τους περιβάλλον ή εκτρέφονται από τον άνθρωπο. Διακρίνεται: α) σε κόκκινο κρέας, που προέρχεται κατά βάση από μοσχάρια, χοίρους, αρνιά και κατσίκια και β) σε άσπρο κρέας, που προέρχεται κυρίως πουλερικά και κουνέλια. Το κρέας αποτελεί βασικό πυλώνα διατροφής του ανθρώπου και περιέχει κατά βάση πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη και τη συντήρηση του ανθρώπινου οργανισμού, καθώς και για τη δημιουργία ισχυρού αμυντικού συστήματος. Περιέχει κατά βάση πρωτεΐνες, Fe και B<sub>12</sub>. Από τις πρωτεΐνες, το 90% αυτών είναι μεγάλης βιολογικής αξίας, όπως μυσσίνη, σφαιρίνη με πολλά αμινοξέα, όπως λυσίνη, μεθειόνη, θρυπτοφάνη κλπ. Επίσης περιλαμβάνει υδατάνθρακες (γλυκογόνο) και λιπίδια. Η ανεπάρκεια των πρωτεϊνών στον ανθρώπινο οργανισμό καλύπτεται από την καθημερινή κατάλληλη πρόσληψη τροφής. Η ακριβής σύσταση κάθε κρέατος εξαρτάται από το είδος του ζώου, τη διατροφή του και το περιβάλλον διαβίωσής του (Κ. Σφλώμος, 2011). Σύμφωνα με τους McCance και Widdowson, 1997, η μέση περιεκτικότητα του άπαχου κρέατος βρίσκεται στο 20% και υπερτερεί σαφώς των λοιπών τροφίμων, με εξαίρεση τις φακές περιέχει

Τρόφιμα	Πρωτεΐνη (%)	Λίπος (%)	Ενέργεια (kJ/100 gr)
<b>Άπαχο νοπό κρέας</b>			
Βοδινό	20	5	517
Αρνίσιο	21	9	679
Χοιρινό	21	7	615
Κοτόπουλο (χωρίς δέρμα)	21	4	508
<b>Άλλα τρόφιμα</b>			
Ρέγκα	17	19	970
Αυγό βρασμένο σκληρό	12.1	11.2	660
Γάλα παστεριωμένο	3.2	3.5	263
Πατάτες βραστές	2	0.2	318
Μπιζέλια	7	2	344
Καρότα	1	0.3	146
Λάχανο	2	0.4	209
Ρύζι	7	3	1518
Φακές	24	2	1264

αντίστοιχο ποσοστό. Στο παράπλευρο πίνακα αποτυπώνεται η μέση περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε πρωτεΐνες, λίπος και αποδιδόμενη ενέργεια. Το κοτόπουλο, η γαλοπούλα και γενικά τα «άσπρα» κρέατα είναι εξαιρετικές πηγές πρωτεϊνών, βιταμινών και ιχνοστοιχείων, καθώς και χαμηλής περιεκτικότητας, τόσο σε ολικό όσο και σε κορεσμένο λίπος σε σχέση με το κόκκινο κρέας, οπότε αποτελεί βασική προτίμηση πρωτεϊνικής διατροφής παγκοσμίως. Στις ανεπτυγμένες χώρες, η κατανάλωση πουλερικών υπερβαίνει εκείνη του βοείου κρέατος και η παραγωγή τους είναι πλέον ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένη.

Το κρέας περιέχει υψηλής ποιότητας πρωτεΐνες. Η βιολογική αξία, η αποτελεσματικότητα και η καθαρή χρησιμοποίηση της πρωτεΐνης αποτελούν δείκτες για την αξιολόγηση της ποιότητας των πρωτεϊνών. Σχηματικά, αποτυπώνεται η ποιότητα διαφόρων τροφίμων με τις πρωτεΐνες των αυγών και του γάλακτος να υπερέχει αυτών του κρέατος, ενώ οι πρωτεΐνες των



τροφίμων φυτικής προέλευσης να υστερούν ποιοτικά του κρέατος. Η ποιότητα των πρωτεϊνών μεταξύ των τύπων κρέατος δεν παρουσιάζει ουσιαστικές διαφορές.

### 2.2.2. Αυγά

Το αυγό θεωρείται ως η πλουσιότερη και η πιο ολοκληρωμένη – σε θρεπτική αξία- τροφή. Το αυγό είναι μια σημαντικότερη πηγή βιταμινών του συμπλέγματος Β, περιέχει αντιοξειδωτικές ουσίες που καταπολεμούν τις ελεύθερες ρίζες που ενοχοποιούνται για σειρά ασθενειών συνδεδεμένων με καρδιακά νοσήματα, αλλά και τον καρκίνο. Η διατροφική αξία του αυγού αποδεικνύεται από το φυσικό προορισμό, ο οποίος αφορά στην παροχή θρεπτικών ουσιών στο έμβρυο (πουλερικό), που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξή του μετά την εκκόλαψη. Η ύπαρξη χοληστερόλης στο αυγό, σε συνδυασμό με τη παραγωγή χοληστερόλης από τον οργανισμό, διατροφικά συνίσταται η ημερήσια κατανάλωση ενός αυγού. Παράλληλα περιέχει και το φωσφολιπίδιο λεκιθίνη, ουσία που δρα ως παρεμποδιστής της απορρόφησης της χοληστερόλης των τροφίμων από τον οργανισμό και τη μεταφορά στο αίμα (Κ. Σφλώμος, 2011). Το ασπράδι ή λεύκωμα αποτελείται περίπου κατά 85% από



νερό και πρωτεΐνες (αλβουμίνες). Περιέχει επίσης μεταλλικά στοιχεία όπως μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο, βιταμίνες του συμπλέγματος Β (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> και κυρίως B<sub>12</sub>), καθώς και γλυκίδια. Ο κρόκος του αυγού περιέχει: α) 30-35% **λιπίδια** με τη χοληστερόλη στα ~200 mg, β) **πρωτεΐνες** (15-18% του βάρους του), γ) νερό (40-45%), δ) υδατάνθρακες (κυρίως λακτόζη) ~1% και ε) βιταμίνες A, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub> και στ) μέταλλα (Fe, P, Ca, S). Το πλούσιο σε φυσικό κολλαγόνο ασπράδι του αυγού χρησιμοποιείται για την επούλωση εγκαυμάτων. Το κολλαγόνο αποτελεί το κυριότερο συστατικό του συνδετικού ιστού του οργανισμού και είναι αδιάλυτη πρωτεΐνη (Κ.Σφλώμος, 2011).

### **2.2.3. Γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα**

Με βάση τα ιστορικά δεδομένα, το γάλα ανακαλύφθηκε χιλιάδες χρόνια πριν. Η παραγωγή γάλακτος άρχισε να αναδεικνύεται σε μικρή κλίμακα στα πρώτα χρόνια, αξιοποιώντας τις τοπικές πηγές, τα πρόβατα, τις αγελάδες αλλά και τις τροφές τους με τρόπο, έτσι ώστε να υπάρξει συγκεκριμένη ποσότητα που θα μπορούσε να καλύψει μια μικρή κοινότητα. Κατά την πάροδο του χρόνου, ιδιαίτερα την δεκαετία του '60, η αύξηση στις φάρμες των ζώων σε χώρες που είχαν αναπτυχθεί βιομηχανικά, ήταν αισθητή. Έτσι, οι αγρότες για να έχουν μια καλή παραγωγή γάλακτος, φρόντιζαν οι τροφές των ζώων να είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά και να παρέχουν ενέργεια στον οργανισμό με σκοπό την ταχύτερη πέψη, καλύπτοντας παράλληλα τις ανάγκες τους σε συντήρηση, όπως η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του σώματος σε μακροχρόνιο επίπεδο.

Ένα άλλο στάδιο που συμβάλλει στην παραγωγή γάλακτος, είναι το στάδιο της απόδοσης των ζώων, το οποίο είναι σημαντικό, αν πρόκειται για μεγάλης κλίμακας εταιρία. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι καθημερινές ποσότητες του γάλακτος που συλλέγονται και η διάρκεια της γαλακτοφορίας. Γενικότερα, τα τελευταία χρόνια η αναπαραγωγή της αγελάδας συμβαίνει 6 εβδομάδες μετά την γέννησή της, το οποίο σε κανονικές συνθήκες μειώνει την πρόωμη έκκριση του γάλακτος της νεογέννητης αγελάδας (Svennersten-Sjaunja & Olsson, 2005).

Η παραγωγή ενός γάλακτος υψηλής ποιότητας παίζει σημαντικό ρόλο στην πετυχημένη κατασκευή και στη διαφήμιση των γαλακτοκομικών προϊόντων. Η υψηλή ποιότητα γάλακτος επιτυγχάνεται με τις σωστές μονάδες επεξεργασίας, με τα κατάλληλα κέντρα λιανικής πώλησης και τους έμπιστους διανομείς γαλακτοκομικών προϊόντων. Η κατάσταση του γάλακτος, θα πρέπει να βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα, για να ενταχθεί σε στάδιο υψηλής ποιότητας. Για το λόγο αυτό, δεν πρέπει η γεύση και η ποιότητα του γάλακτος να βρίσκεται εκτός ορίων, σε μεταγενέστερο στάδιο (Park & Guo, 2006, Park, 2010). Γενικότερα, το νωπό γάλα παράγεται από το μαστό του ζώου, οι αδένες του είναι

εύκολα φθαρτοί και η ποιότητά του επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, που είναι συνήθως αρνητικοί. Μερικά παραδείγματα αρνητικών παραγόντων, είναι η διατροφή, που είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες, ο χειρισμός των ζώων, πριν και μετά το άρμεγμα και στη συνέχεια η ψύξη η παστερίωση, η επεξεργασία, η συσκευασία του προϊόντος (Peters, 1990, Haenlein, 1993). Λόγω του ότι το γάλα είναι ευπαθές προϊόν και λόγω της δυνατότητάς του να είναι θρεπτικό μέσο για ανάπτυξη βακτηρίων, αλλοιώνεται πολύ εύκολα. Όμως, ένα καλής ποιότητας γάλα αναφέρεται ως αυτό που δεν περιέχει επιβλαβείς παθογόνους ή απλούς μικροοργανισμούς που μπορεί να βλάψει κάποια γαλακτοκομικά προϊόντα. Οι παράμετροι (Haenlein, 1993, Park & Guo, 2006, Park, 2010) που διασφαλίζουν την ποιότητα της παραγωγής του γάλακτος, όπως οι βακτηριακές μετρήσεις, τυχόν υπολείμματα φυτοφαρμάκων και άλλων ουσιών που συμβάλλουν στη νοθεία, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τα θρεπτικά συστατικά του γάλακτος. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με την παραγωγή γάλακτος και των υπολοίπων γαλακτοκομικών προϊόντων ταξινομούνται σε βιολογικούς, μικροβιολογικούς, χημικούς και φυσικούς κινδύνους. (Αρβανιτογιάννης Ιωάννης Σ., (2001), 227-230)

Οι βιολογικοί κίνδυνοι διακρίνονται σε μακροβιολογικούς και μικροβιολογικούς. Ένα παράδειγμα μακροβιολογικών κινδύνων είναι η παρουσία εντόμων, η οποία μπορεί να προκαλέσει κινδύνους στο προϊόν, μεταφέροντας του ασθένειες. Ειδικότερα σε γαλακτοβιομηχανίες οι οσμές και οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά ελκυστικές για τα έντομα. Αντίθετα, οι μικροβιολογικοί κίνδυνοι σε γαλακτοκομικά προϊόντα είναι ιδιαίτερα αισθητοί. Είναι πολύ πιθανό να υπάρξει κάποια επιμόλυνση και κάποιος παθογόνος μικροοργανισμός, όπως η *Listeria monocytogenes* που μπορεί να επιβιώσει και να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο και στο προϊόν αλλά και στον καταναλωτή.

Οι χημικοί κίνδυνοι εμφανίζονται ως τα χημικά συστατικά που έχουν εισαχθεί στο τρόφιμο κατά τη διάρκεια της παρασκευής ή μέσω των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται. Μερικοί από αυτούς είναι :

- I. Εντομοκτόνα, είναι τεχνητά παρασκευάσματα που χρησιμεύουν στην εξόντωση επιβλαβών εντόμων, όπως μύγες, κατσαρίδες. Για την αποφυγή των φαρμάκων αυτών, θα πρέπει να υπάρχει χρήση φυσικών φαρμάκων και σωστός σχεδιασμός της καλλιέργειας των πρώτων υλών.
- II. Αντιβιοτικά, είναι φυσικά προϊόντα ζώντων μικροοργανισμών, τα οποία δεν είναι τοξικά για τους μικροοργανισμούς αλλά είναι ικανά να αναχαιτίσουν την ανάπτυξη παθογόνων. Για την εξάλειψη του κινδύνου θα πρέπει να χορηγούνται επιτρεπτές

ποσότητες από τους παραγωγούς και να μην παραδίδεται το γάλα στην βιομηχανία προτού γίνει απομάκρυνση του αντιβιοτικού από το περιεχόμενο του γάλακτος.

- III. Τοξικά Μέταλλα, που η μεταφορά τους γίνεται από διάφορες πηγές, όπως το έδαφος που καλλιεργούνται οι τροφές των ζώων, μιας κ είχαν βρεθεί σημαντικές ποσότητες μόλυβδου σε αγελάδες δίπλα απο αυτοκινητόδρομο, το νερό που χρησιμοποιείται και ο εξοπλισμός. (Αρβανιτογιάννης Ιωάννης Σ.(2001), 229, Ασφάλεια Τροφίμων).

Τέλος, οι φυσικοί κίνδυνοι συμπεριλαμβάνουν όλα τα ξένα σώματα που βρίσκονται μέσα στο προϊόν και ειδικότερα στο γάλα. Μερικά παραδείγματα είναι οι τρίχες από τους ανθρώπους και τα ζώα, το γυαλί, οι πέτρες και το ξύλο. Για την αποφυγή αυτών των κινδύνων στο προϊόν, γίνεται χρήση φίλτρων, ειδικών ανιχνευτών και με οπτικούς ελέγχους. Έτσι, το γάλα ήταν και είναι και θα είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους. Οι άνθρωποι βρίσκονται ακόμα στη διαδικασία απόκτησης ανοχής της λακτόζης του γάλακτος και έχουν παρατηρηθεί διατροφικά πλεονεκτήματα από την κατανάλωσή του.

Το γάλα, στην εποχή μας, εμφανίζεται ως μια ηγετική συνιστώσα στο σύγχρονο τροφικό καθεστώς. Όπως αναφέρει ο Alfred W. Crosby, προσπάθησε να αυξήσει την παραγωγή του γάλακτος στο μέγιστο με αποτέλεσμα, οι χώρες που δεν γνώριζαν την κατανάλωσή του, έδειξαν μεγάλη άνοδο λόγω του Ευρωπαϊκού προτύπου σχετικά με το γάλα. Συχνά περιγράφεται το γάλα, ως φυσικό τρόφιμο που προέρχεται από τα νεογνά θηλαστικά. Είναι ένα αδιαφανές υγρό που συντίθεται και αποθηκεύεται στους μαστικούς αδένες των θηλυκών θηλαστικών με σκοπό την ανάθρεψη των νεογνών τους. Το γάλα συντίθεται από θρεπτικά συστατικά μέσα στη διατροφή του ζώου τα οποία παρασύρονται από το αίμα και καταλήγουν στο μαστικό ιστό. Το γάλα περιέχει πολλά είδη πρωτεϊνών και τα περισσότερα βρίσκονται σε μικρές ποσότητες. Οι πρωτεΐνες κατηγοριοποιούνται με ποικίλους τρόπους με βάση τις φυσικές, τις βιολογικές και τις χημικές τους ιδιότητες. Η κατάταξη τους γίνεται σε καζεΐνες, δηλαδή σε πρωτεΐνες ορού γάλακτος και δευτερεύουσες πρωτεΐνες, αλλά ακόμα και σε πρωτεΐνες μεμβράνης που προέρχονται από σφαιρίδια λίπους. Οι καζεΐνες κατακρημνίζονται από το γάλα με διάφορους τρόπους, ενώ οι πρωτεΐνες του ορού παραμένουν σε διάλυμα.

Η συγκέντρωση των βασικών πρωτεϊνών στο αγελαδινό γάλα, από συγκεκριμένες μελέτες (Walstra & Jenness, 1984) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3 :

**Πίνακας 3 : Συγκέντρωση πρωτεϊνών ορού στο αγελαδινό γάλα**

Πρωτεΐνες ορού	Συγκέντρωση στο γάλα	Συνολικές πρωτεΐνες (%)
α- Λακταλβουμίνη	1,2	3,7
β- Λακτογλοβουλίνη	3,2	9,8
Συνολικές πρωτεΐνες ορού	6,3	19,3

**Πηγή : Y.W.Park, G.F.W.Haelein, 2013**

Το γάλα είναι η φυσιολογική έκκριση του μαστού των θηλαστικών που λαμβάνεται από μία ή περισσότερες αμέλξεις, χωρίς καμία προσθήκη ή αφαίρεση, η οποία προορίζεται για πόσιμο γάλα ή για περαιτέρω επεξεργασία που ορίζεται από τον FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Αποτελεί πλήρη τροφή στον ανθρώπινο οργανισμό, διότι περιέχει συστατικά που τον τροφοδοτούν σε ενέργεια, λόγω του λίπους και της λακτόζης, με κάποια δομικά συστατικά και με βιταμίνες και ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για την διεξαγωγή των βιοχημικών διεργασιών.

### **2.3. Μεθοδολογίες παρασκευής κολλοειδών συστημάτων**

Ένα χαρακτηριστικό που αναφέρεται ως μέθοδος διασκόρπισης είναι ότι τα κολλοειδή συστήματα δρουν με την εφαρμογή της αδρομερής ύλης σε διαστάσεις πάνω από τα 500nm και έχουν μικρή διακριτική ικανότητα και ως μέθοδος συσσωμάτωσης είναι ότι τα συστήματα ξεκινούν από ύλη διάστασης μικρότερο του 1nm, όπως είναι τα διαλύματα. Η διαδικασία της παρασκευής των κολλοειδών συστημάτων από κάποια ύλη συγκεκριμένων κολλοειδών διαστάσεων λέγεται πέψη.

#### **2.3.1. Μέθοδοι διασκόρπισης**

##### **A. Πέψη με ιόντα**

Οι κολλοειδείς μονάδες έχουν την ανάγκη να φορτίζονται και για την πέψη πραγματοποιείται προσθήκη μιας μικρής ποσότητας ηλεκτρολυτών, που ονομάζονται «μέσα πέψης ή αιωρηματικές ουσίες», στα οποία, τα ιόντα που περιέχονται είναι συγκεκριμένου φορτίου και έχουν την ικανότητα να συγκρατούνται από τις κολλοειδείς μονάδες. Η μέθοδος της πέψης με ιόντα χρησιμοποιείται στην παρασκευή άμορφων, υγρών ή στερεών κολλοειδών συστημάτων σε ρευστά μέσα διασποράς. Η ποσότητα ηλεκτρολυτών που προστίθεται δεν πρέπει να είναι μεγάλη, καθώς αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για την καταστροφή των κολλοειδών συστημάτων. Επομένως, η κατάλληλη ποσότητα ηλεκτρολυτών πρέπει να είναι μικρή.

## **B. Μηχανική πέψη**

Το συστατικό που μπορεί να είναι σε μορφή στερεού, μεσόμορφου ή και άμορφου, κατανέμεται σε κολλοειδείς διαστάσεις και διασπείρεται. Η ύλη που διασκορπίζεται θα πρέπει να είναι αδιάλυτη σε υγρό μέσο διασποράς ή το μέσο αυτό να είναι κορεσμένο στην ύλη αυτή. Όμως, μετά τη διαδικασία της διασποράς, η ύλη δύσκολα μετατρέπεται σε κολλοειδές σύστημα με το μέσο διασποράς. Οι κολλοειδείς μονάδες έχουν θερμική κίνηση συγκεκριμένης συχνότητας που έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν συγκρούσεις μεταξύ των παραπάνω μονάδων και των τοιχωμάτων στα δοχεία που περιέχεται το κολλοειδές σύστημα. Για να επιτευχθεί η εφαρμογή της μηχανικής πέψης, θα πρέπει η συχνότητα να δημιουργηθεί με τη βοήθεια μηχανικών μέσων και να έχει ως σκοπό την ανάπτυξη κολλοειδούς συστήματος. Μερικοί τρόποι με ιδανικό εξοπλισμό, για την ομογενοποίηση μιας ουσίας είναι η απλή ανάδευση. Ακόμη, μπορεί να χρησιμοποιηθούν υπέρηχοι ή υψίσυχνα ρεύματα. Ο χρόνος εφαρμογής θα πρέπει να είναι ελάχιστος, διότι όσο αυξάνεται η διάρκεια της, εντείνεται και ο κίνδυνος καταστροφής του κολλοειδούς συστήματος.

## **Γ. Πέψη με πλύση**

Στην παραπάνω περίπτωση, η πέψη με πλύση συμβαίνει όταν στο ίζημα, απομακρυνθεί η μεγάλη ποσότητα των ιόντων από αυτό και το κολλοειδές σύστημα να εξακολουθεί να ανήκει στην κατηγορία των αντιστρεπτών κολλοειδών. Η διαδικασία της απομάκρυνσης της μεγάλης ποσότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους, με διαπίδυση και ηλεκτροδιαπίδυση.

### **2.3.2. Μέθοδοι συσσωμάτωσης**

#### **A. Αναγωγή**

Στο στάδιο της αναγωγής αναφέρεται ότι πολλά μέταλλα δίνουν κολλοειδή διαλύματα σε νερό με χημική αναγωγή των αλάτων τους (Καραϊσκάκη Γεωργίου Σ., Φυσικοχημεία, 427). Έτσι, όταν ένα διάλυμα μεταλλικού άλατος επιδράσει σε αναγωγικό μέσο, το μέταλλο έχει μέγεθος περίπου κολλοειδών διαστάσεων. Συνήθως, τα κολλοειδή σωματίδια εμφανίζονται σε μορφή χρωματισμένη και το μέγεθος των μεταλλικών σωματιδίων αποτελούν και το χρώμα των κολλοειδών. Μερικά αναγωγικά μέσα είναι το υδρογόνο, το μονοξείδιο του άνθρακα και η υδραζίνη.

#### **B. Υδρόλυση αλάτων**

Στη διαδικασία της υδρόλυσης αναφέρεται ότι, για τη δημιουργία κολλοειδούς συστήματος πραγματοποιούνται αλληλεπιδράσεις ισχυρού ή ασθενούς οξέος με ισχυρή ή



ασθενή βάση αντίστοιχα, σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Κάποιοι τρόποι επιτάχυνσης της υδρόλυσης είναι η αραιώση και η θέρμανση. Μερικά παραδείγματα ιόντων είναι άργυρος με το χλώριο και το βάριο με το θειικό οξύ.

### Γ. Διπλή αντικατάσταση

Η αντίδραση της διπλής αντικατάστασης δημιουργεί κολλοειδές σύστημα. Τα διαλύματα που αντιδρούν, πρέπει να είναι σε μεγάλο βαθμό αραιά ή πυκνά. Ο von Weimarn αναφέρει ότι υπάρχει μια εξίσωση που μπορεί να ελέγξει το μέγεθος του σωματιδίου, που ονομάζεται και ως η αναλογία von Weimarn. Η εξίσωση φαίνεται παρακάτω :

$$RSS = \frac{Q - S}{S}$$

Όπου

$RSS$  : ο σχετικός υπερκορεσμός,

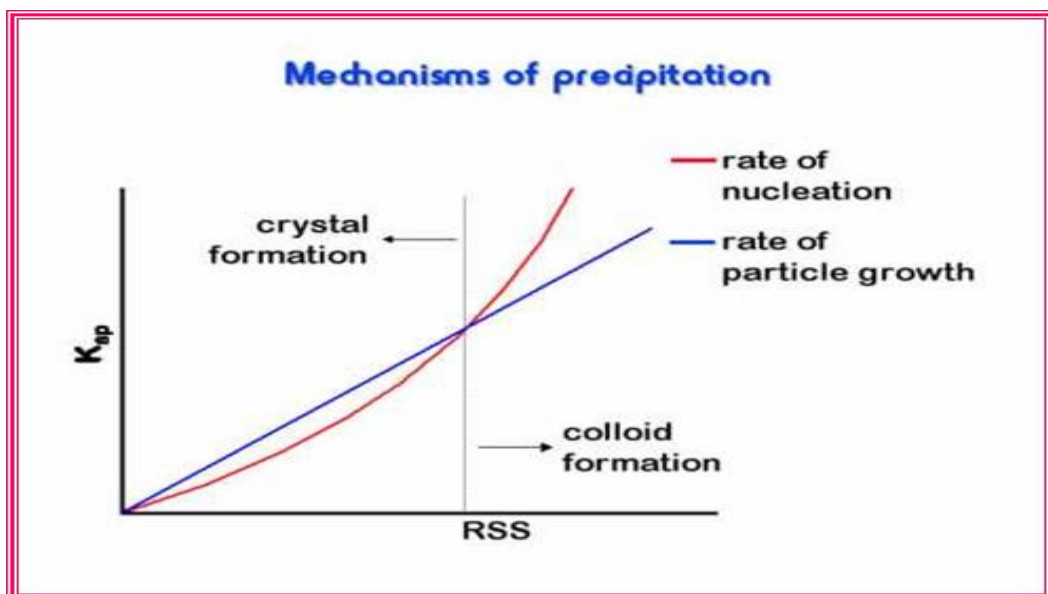
$Q$  : η συγκέντρωση του διαλύματος σε αναμειγμένα αντιδραστήρια πριν την κατακρήμνιση

$S$  : η διαλυτότητα του ιζήματος σε ισορροπία

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1,

Όταν ο σχετικός υπερκορεσμός ( $RSS$ ) είναι μικρός, δημιουργούνται κρυσταλλικά σωματίδια.

Όταν ο σχετικός υπερκορεσμός ( $RSS$ ) είναι μεγάλος, δημιουργούνται κολλοειδή σωματίδια.



Διάγραμμα 1 : Σχέση σχετικού υπερκορεσμού ( $RSS$ ) με σταθερά γινομένου διαλυτότητας ( $K_{sp}$ )

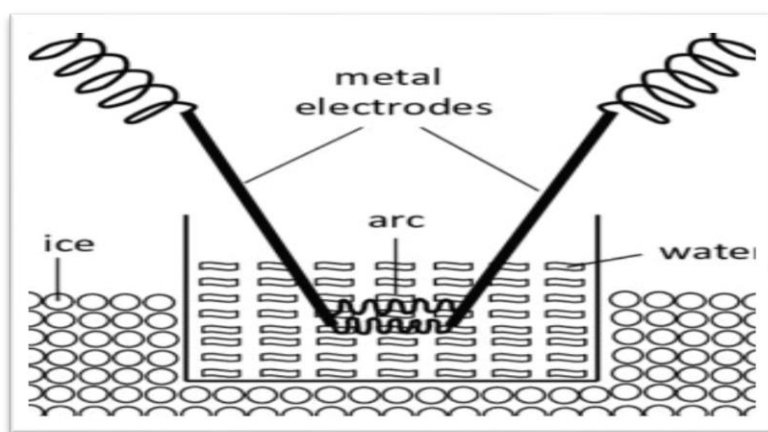
Με την μέθοδο της διπλής αντικατάστασης παρασκευάζονται κολλοειδή συστήματα από όλα τα ιζήματα, που μπορούν να δεχθούν τέτοια εφαρμογή.

#### **Δ. Οξείδωση**

Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κολλοειδούς συστήματος, μέσω των οξειδώσεων των διαλυμάτων μερικών ουσιών. Μερικά παραδείγματα είναι το θείο που παράγεται με οξείδωση του υδρόθειου και το νιτρικό οξύ που παράγεται με οξείδωση του υδροτελλουρίου, σχηματίζουν κολλοειδή συστήματα θείου και τελλουρίου αντίστοιχα.

#### **Ε. Ηλεκτρικό τόξο του Bredig – Svedberg**

Η μέθοδος του Bredig – Svedberg είναι μια μέθοδος προετοιμασίας των κολλοειδών διαλυμάτων από μέταλλα, όπως λευκόχρυσος, ασήμι. Η παραπάνω διαδικασία αποτελείται από διασπορά και συμπύκνωση των σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ δύο ηλεκτροδίων λευκόχρυσου που είναι καταβυθισμένα σε νερό, χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρικό τόξο, με τάση συνήθως στα 110 – 120 V, που χτυπά ανάμεσά τους και βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού, περιέχοντας κάποιους σταθεροποιητικούς παράγοντες. Έτσι, η έντονη θερμότητα του τόξου εξατμίζει κάποια από τα μέταλλα και στη συνέχεια ακολουθεί συμπύκνωση ατμών λόγω της απότομης ψύξης στο νερό, με αποτέλεσμα να γίνεται παραγωγή κολλοειδούς συστήματος διάλυμα λευκόχρυσου σε νερό όπως φαίνεται στην εικόνα 4.



**Εικόνα 4**

#### **2.3.3. Καθαρισμός των κολλοειδών διαλυμάτων**

Γενικότερα, τα κολλοειδή διαλύματα περιέχουν εκτός από κολλοειδή σωματίδια και κάποιες ποσότητες ηλεκτρολυτών. Αυτές, αν όχι όλες, θα πρέπει να απομακρυνθούν από τα διαλύματα γιατί έχουν την ικανότητα, εκτός από να βοηθούν στην πέψη, να καταστρέφουν τα κολλοειδή. Για την αποτροπή της καταστροφής των κολλοειδών

διαλυμάτων, χρησιμοποιούνται κάποιοι μέθοδοι απομάκρυνσης και κάθαρσης των ηλεκτρολυτών που είναι οι εξής :

### **A. Ηλεκτροδιαπίδυση**

Είναι μια διαδικασία μεμβράνης, κατά την οποία το ιόν μεταφέρεται μέσω της ημιπερατής μεμβράνης, υπό την επίδραση του ηλεκτροκινητικού δυναμικού  $\zeta$ . Η μέθοδος της ηλεκτροδιαπίδυσης γίνεται με εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου με αποτέλεσμα την αύξηση του καθαρισμού. Οι μεμβράνες είναι επιλεκτικές, είτε κατιονικές, είτε ανιονικές, που σημαίνει ότι τα ιόντα που θα διαπεράσουν θα έχουν την αντίστοιχη φόρτιση. Οι επιλεκτικές με κατιόν, είναι πολυηλεκτρολύτες με αρνητικά φορτισμένη ύλη οι οποίες φορτίζουν αρνητικά φορτισμένο ιόν και επιτρέπουν τη ροή των θετικά φορτισμένων ιόντων. Με τη τοποθέτηση πολλαπλών μεμβρανών στη σειρά, οι οποίες επιτρέπουν εναλλακτικά να ρέουν θετικά ή αρνητικά φορτισμένα ιόντα, τα ιόντα μπορούν να απομακρυνθούν από το στάσιμο θαλασσινό νερό. Η συμπυκνωμένη ροή θαλασσινού νερού κυκλοφορεί μέχρι να φτάσει σε μια τιμή που επιτρέπει την κατακρήμιση. Στο στάδιο αυτό, η ροή εκκενώνεται. Τα σωματίδια που δεν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο δεν αφαιρούνται. Οι μεμβράνες που επιλέγονται με κατιόν αποτελούνται από σουλφονωμένο πολυστυρένιο, ενώ οι επιλεκτικές με ανιόντες μεμβράνες αποτελούνται από πολυστυρένιο με τεταρτοταγή αμμωνία. Κάποιες φορές η προεπεξεργασία είναι απαραίτητη πριν εφαρμοστεί η μέθοδος της ηλεκτροδιαπίδυσης. Τα αιωρούμενα στερεά με διάμετρο που υπερβαίνουν τα 10  $\mu\text{m}$  αφαιρούνται ή αλλιώς συνδέονται με τους πόρους της μεμβράνης διότι διαταράσσουν την επιλεκτική επίδρασή της. Η διαδικασία της μεθόδου είναι αργή σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Οι μέθοδοι προεπεξεργασίας, οι οποίες βοηθούν στην αποτροπή αυτών των επιδράσεων, είναι η κροκίδωση των κολλοειδών και οι τεχνικές φιλτραρίσματος.

### **B. Διαπίδυση**

Η παραπάνω μέθοδος, είναι μια διαδικασία διαχωρισμού των σωματιδίων του κολλοειδούς από τα σωματίδια που κρυσταλλοειδούς μέσω της διάχυσης κατάλληλης μεμβράνης. Πραγματοποιείται με την εφαρμογή της διάχυσης των ηλεκτρολυτών σε κατάλληλη μεμβράνη που πρέπει να βρίσκεται στα 250 – 500 nm, όπως για παράδειγμα σε σελοφάν, που είναι αδιαπέραστη από τα κολλοειδή. Για να αποφευχθεί η συγκέντρωση των κρυσταλλοειδών, είναι προτιμότερο να αλλάζεται το απεσταγμένο νερό σε συχνή βάση. Η

μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως σε θερμοκρασία γύρω στους 18-20°C, όμως επιτυγχάνεται γρηγορότερα με αύξηση της θερμοκρασίας τους διαλύματος.

### **Γ. Υπερδιήθηση**

Είναι όμοια με την κοινή διήθηση με χρήση ηθμών γνωστού μεγέθους πόρων, στους οποίους οι πόροι γίνονται μικρότεροι με την εμβάπτιση του διηθητικού χαρτιού σε διάλυμα ζελατίνης κολλοειδούς και στη συνέχεια με διαβροχή σε φορμαλδεΰδη και έτσι ο διηθητικός χάρτης συγκρατεί τα κολλοειδή σωματίδια. Η διαφορά είναι ότι στην υπερδιήθηση χρησιμοποιείται μια ειδική μεμβράνη, με μεγάλους πόρους, επιτρέποντας μόνο την διόδο των ηλεκτρολυτών και του μέσου διασποράς. Αναφέρεται ως μια βραδεία διαδικασία και η επίτευξη της πραγματοποιείται με αναρρόφηση ή με την εφαρμογή πίεσης. Έτσι, τα κολλοειδή σωματίδια και οι ηλεκτρολύτες από το μέσο διασποράς, διασπείρονται σε μορφή λάσπης. Αυτή η μορφή λάσπης αραιώνεται με καθαρό μέσο διασποράς.

## **Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι χαρακτηρισμού κολλοειδών**

### **3.1. Περιγραφή Χαρακτηρισμού κολλοειδών τροφίμων ζωικής προέλευσης**

Αναφορικά με το χαρακτηρισμό των κολλοειδών στα τρόφιμα ζωικής προέλευσης, τα κολλοειδή συστήματα αντιμετωπίζονται ως συγκροτήματα σωματιδίων και μακρομορίων σε διάφορες καταστάσεις, εξετάζονται ο βαθμός διασποράς και το μέγεθος των σωματιδίων, το σχήμα και την εσωτερική δομή των σωματιδίων, η χωρική κατανομή των διεσπαρμένων σωματιδίων, καθώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών μοριακών και σωματιδιακών οντοτήτων, μεγέθη που συσχετίζονται με τις οπτικές και τις κινητικές ιδιότητες των κολλοειδών συστημάτων. για τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη δομή και στην κατανομή των μοριακών συστατικών των τροφίμων ζωικής προέλευσης (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, κλπ.), αφού οι πρωτεΐνες, οι πολυσακχαρίτες και τα μίγματα αυτών, ως παραδείγματα φυσικών βιοπολυμερών, παίζουν ουσιώδη ρόλο στη σταθεροποίηση των σκευασμάτων τροφίμων. Τα τρόφιμα ζωικής προέλευσης αποτελούν βασικό πυλώνα διατροφής του ανθρώπου και περιέχουν κατά βάση πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες- πολυσακχαρίτες, στοιχεία που συντελούν στη δημιουργία ισχυρού αμυντικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού. Οι πρωτεΐνες είναι μοριακά κολλοειδή και τα πιο περίπλοκα στη μορφή και λειτουργία τους μακρομόρια, αποτελούνται κυρίως από αμινοξέα, έχουν μεγάλο μοριακό βάρος, περιέχουν δε άνθρακα, οξυγόνο και άζωτο. Οι πολυσακχαρίτες είναι μακρομόρια υδατανθράκων με σημαντικότερους το άμυλο, την κυτταρίνη και το γλυκογόνο. Το γλυκογόνο βρίσκεται στους μύες των ζώων και αποτελεί κύρια πηγή ενέργειας για τους οργανισμούς αυτούς. Έχει τη μορφή σκόνης, είναι υδρόφιλο και σχηματίζει κολλοειδές διάλυμα, παρόμοιο με το γάλα.

Για το χαρακτηρισμό, όπως προαναφέρθηκε, των κολλοειδών συστημάτων εξετάζονται – σε συνδυασμό με τις οπτικές και τις κινητικές ιδιότητές τους - ο βαθμός διασποράς και το μέγεθος των σωματιδίων, το σχήμα και η εσωτερική δομή των σωματιδίων, η χωρική κατανομή των διεσπαρμένων σωματιδίων, καθώς η μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους μεθόδους που έχουν εφαρμογή στο χαρακτηρισμό των κολλοειδών σωματιδίων των τροφίμων ζωικής προέλευσης, όπως η Δυναμική Σκέδαση

Φωτός (DLS), η Στατική Σκέδαση Φωτός (SLS), η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Μετάδοσης (TEM) και η Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου (FFF).

### 3.2. Μέθοδοι χαρακτηρισμού κολλοειδών

Οι οπτικές μέθοδοι χαρακτηρισμού κολλοειδών, όπως η δυναμική σκέδαση φωτός (Dynamic Light Scattering), η στατική σκέδαση φωτός (Static Light Scattering), η μικροσκοπία φθορισμού (Fluorescence microscopy), η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (Scanning electron microscopy), η ηλεκτρονική μικροσκοπία μετάδοσης (Transmission electron microscopy), η μικροσκοπία ατομικής δύναμης (Atomic force microscopy) και οι χρωματογραφικές, όπως και η χρωματογραφία αποκλεισμού (Exclusion Chromatography), η μονοφασική χρωματογραφία πεδίου (Field Flow Fractionation) αποτελούν τεχνικές υψηλής ανάλυσης, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εκπαιδευτικών, επιστημονικών και βιομηχανικών εφαρμογών.

#### Σκέδαση ακτινοβολίας

Με τον όρο σκέδαση νοείται η φυσική διαδικασία όπου κάποιες μορφές ακτινοβολίας, όπως το φως, ο ήχος ή τα κινούμενα σωματίδια, αναγκάζονται να αποκλίνουν από μια ευθεία τροχιά προς διάφορες κατευθύνσεις λόγω της ύπαρξης, μη ομοιόμορφων σωματιδίων στο μέσο μέσω του οποίου διέρχονται. Οι μηχανισμοί της διεργασίας αυτής εξαρτώνται από τη σχέση του μήκους κύματος της δέσμης με τις διαστάσεις των σωματιδίων του μέσου. Η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το μέγεθος των παραγόμενων διπόλων εντός του μορίου. Όσο μεγαλύτερη η πολωσιμότητα του μορίου, τόσο μεγαλύτερα τα παραγόμενα δίπολα και τόσο μεγαλύτερη η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Η πολωσιμότητα ενός σωματιδίου  $a$ , συνδέεται με τον δείκτη διάθλασης  $n$ , μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$a \sim n^2 - 1$$

Για διαλύματα, η πολωσιμότητα συνδέεται με την μεταβολή του δείκτη διάθλασης του διαλύματος με την συγκέντρωση ( $d_n/d_c$ ) και αναγράφεται παρακάτω :

$$\frac{a \sim E \sim d_n}{d_c} = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{n - n_0}{c}$$

$$I_{scat} \sim \left(\frac{d_n}{d_c}\right)^2$$

Μέρος του φωτός μπορεί να σκεδαστεί από τα άτομα και τις ατέλειες εντός του στερεού.

### 3.1.1 Δυναμική Σκέδαση Φωτός (DLS)

Η δυναμική σκέδαση φωτός (Dynamic Light Scattering, DLS), που λέγεται και φασματοσκοπία συσχετισμού φωτονίων (photon correlation spectroscopy, PCS) και ημιελαστική σκέδαση φωτός (quasi-elastic light scattering, QELS), αποτελεί μια πανίσχυρη τεχνική διερεύνησης της δυναμικής διαλυμάτων και μέτρησης του μεγέθους σωματιδίων. (Skoog; Holler; Crouch, 2007). Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε διαλύματα που περιέχουν σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 5μm. Στην παραπάνω τεχνική, πραγματοποιείται μέτρηση της διεύρυνσης Doppler του φωτός που εμφανίζεται από τη σκέδαση Rayleigh και ως αποτέλεσμα είναι η κίνηση Brown των σωματιδίων. Η θερμική κίνηση Brown έχει ως συνέπεια τις χρονικές διακυμάνσεις της έντασης φωτός που προέρχεται από τη σκέδαση και μια διεύρυνση της γραμμής Rayleigh. Σε μερικά διαλύματα μακρομοριακών ενώσεων συνήθως επικρατούν οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων. Στο στάδιο αυτό, το εύρος της γραμμής Rayleigh είναι ανάλογο με το συντελεστή διάχυσης μετατόπισης  $D_T$ . Πιο ειδικά, στη μέθοδο DLS, για τον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης, χρησιμοποιούνται τεχνικές ανάλυσης συσχετισμού και οπτικής ανάμιξης.

Όσον αφορά τα κolloειδή, η δυναμική σκέδαση φωτός λαμβάνει χώρα μέσω της διασκόρπισης του δείγματος σε ένα μέσο αιώρησης. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, το δείγμα φωτίζεται με μια δέσμη λέιζερ μονοχρωματικού φωτός. Στα περισσότερα όργανα DLS, χρησιμοποιείται ένας φωτοπολλαπλασιαστής ως μη γραμμικός αναμίκτης συχνοτήτων, επειδή το σήμα εξόδου του είναι ανάλογο προς το τετράγωνο του ηλεκτρικού πεδίου που προσπίπτει στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Χρειάζεται να γίνει μια υπόθεση ότι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία αποτελείται από δύο ημιτονικά κύματα συχνοτήτων  $\omega_1$  και  $\omega_2$ , για να γίνει αντιληπτό, πως ο φωτοπολλαπλασιαστής ενεργεί ως μείκτης. Το διάνυσμα ηλεκτρικού πεδίου  $E$  μπορεί να γραφτεί ως:

$$E = E_1 \sin \omega_1 t + E_2 \sin \omega_2 t$$

όπου  $E_1$  και  $E_2$  είναι τα πλάτη των δυο κυμάτων.

Το σήμα εξόδου του φωτοπολλαπλασιαστή  $S(\omega)$  είναι ανάλογο προς το τετράγωνο του ηλεκτρικού πεδίου και μπορεί να εκφρασθεί από την εξίσωση :

$$S(\omega) = A \{ E_1^2 \sin^2 \omega_1 t + E_2^2 \sin^2 \omega_2 t + E_1 E_2 [ \cos(\omega_2 - \omega_1) t - \cos(\omega_2 + \omega_1) t ] \}$$

όπου  $A$  : είναι μια σταθερά αναλογίας.

Ο φωτοπολλαπλασιαστής δεν αποκρίνεται άμεσα στις συχνότητες  $\omega_1$  και  $\omega_2$  ή στον όρο του αθροίσματος τους γιατί αυτά είναι μεγαλύτερα από 10<sup>14</sup> Hz για την ορατή ακτινοβολία. Ωστόσο, αποκρίνεται στον όρο διαφοράς  $\omega_1 - \omega_2$ , ο οποίος μπορεί να είναι πολύ μικρός, έως και λίγα Hz. Όταν υπάρχουν πολλές συχνότητες σχηματίζεται ένα φάσμα διαφοράς με κεντρική συχνότητα 0. Η εξάρτηση από τον χρόνο των διακυμάνσεων έντασης χρησιμοποιείται για την εξαγωγή πληροφοριών για το μέγεθος των σωματιδίων. Η οπτική μίξη πραγματοποιείται με σχηματισμό φωτοδιακροτήματος του σκεδαζόμενου φωτός με μια μικρή αναλογία τις αρχικής δέσμης (ετερόδυνη ανίχνευση) ή με σχηματισμό διακροτήματος με τον ίδιο τον εαυτό του (αυτο-διακρότημα).

Το σήμα εξόδου του φωτοπολλαπλασιαστή είναι ανάλογο της έντασης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Επειδή τα διασκορπισμένα σωματίδια ορύσσονται σε συνεχή θερμική κίνηση, η παρατηρούμενη ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας  $I(t)$  υπόκειται σε χρονικές διακυμάνσεις. Η καταγραφή της έντασης ως προς τον χρόνο μοιάζει με σχηματομορφή θορύβου. Τα μικρά σωματίδια προκαλούν ταχύτερες διακυμάνσεις σε σχέση με τα μεγάλα.

Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης του σήματος (autocorrelation function). Κατά την αυτοσυσχέτιση το σήμα πολλαπλασιάζεται και λαμβάνεται η μέση τιμή του σήματος ως προς το χρόνο (time-averaged). Η μέση τιμή ως προς το χρόνο υπολογίζεται για διαφορές τιμές χρόνου καθυστέρησης και καταγράφεται ως προς αυτές. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης αποτελεί τον μετασχηματισμό *Fourier* θα πρέπει να αποδίδεται από μια καμπύλη εκθετικής μείωσης. Σύμφωνα με τη θεωρία της τεχνικής DLS, η χρονοσταθερά  $t$  της εκθετικής μείωσης είναι απευθείας ανάλογη προς τον συντελεστή διάχυσης μετατόπισης των ισότροπων, σφαιρικών σωματιδίων που μετέχουν της κίνησης Brown.

$$T = D_T * q^2$$

όπου,

$q$  : η παράμετρος του μέτρου του διανύσματος σκέδασης και παρέχεται από την ακόλουθη σχέση:

$$q = \frac{4 * \pi * n}{\lambda * \sin(\frac{\theta}{2})}$$

όπου,

$n$  : είναι ο δείκτης διάθλασης του υγρού μέσου αιώρησης

$\theta$  : είναι η γωνία σκέδασης



$\lambda$  : είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας λέιζερ.

Το μέγεθος του σωματιδίου παρέχεται από τον συντελεστή διάχυσης μετατόπισης  $D_T$  και από πληροφορίες σχετικές με τη μορφή του σωματιδίου. Για ένα σφαιρικό σωματίδιο, χρησιμοποιείται η σχέση Stokes-Einstein για τον υπολογισμό της υδροδυναμικής διαμέτρου του σωματιδίου  $d_h$  :

$$d_h = \frac{k * T}{3\pi * \eta * D_T}$$

όπου,

$k$  : είναι η σταθερά Boltzmann

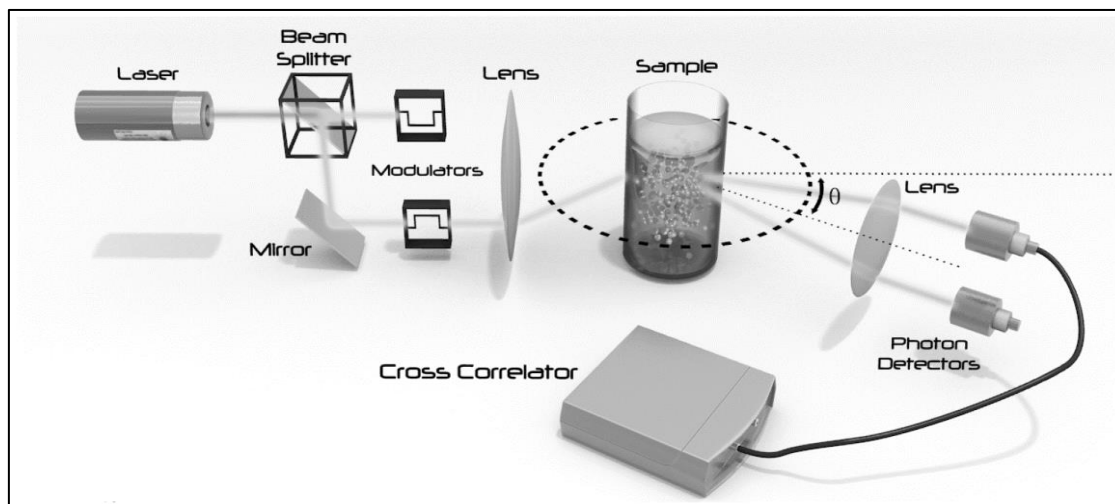
$T$  : είναι η απόλυτη θερμοκρασία

$\eta$  : το ιξώδες του μέσου.

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει μόνο για μη αλληλεπιδρώντα σωματίδια, η υδροδυναμική διάμετρος αντιστοιχεί προς τη διάμετρο μιας υποθετικής σφαίρας, η οποία θα είχε τον ίδιο συντελεστή διάχυσης μετατόπισης  $e_m$  το μη σφαιρικό σωματίδιο. Η τεχνική της δυναμικής σκέδασης φωτός μπορεί να δώσει τις κατανομές των μεγεθών των σωματιδίων, παρόλο που απαιτεί προσεκτική προετοιμασία του δείγματος και μεγαλύτερους χρόνους μέτρησης. Τα αποτελέσματα που παρέχει η DLS δεν οδηγούν σε μια πλήρως ορθή κατανομή των μεγεθών των σωματιδίων, επειδή υπάρχουν πολλές κατανομές που αντιστοιχούν σε παρόμοιες σχηματομορφές συσχέτισης.

Σε ότι αφορά την οργανολογία της τεχνικής DLS, όπως φαίνεται στην εικόνα 5, το όργανο αποτελείται από μια πηγή λέιζερ, μια κυψελίδα δείγματος, έναν φωτοανιχνευτή και ένα υπολογιστή με έναν αυτοσυσχετιστή. Ως πηγή φωτός, χρησιμοποιείται ένα λέιζερ συνεχούς σήματος (Continuous Wave). Σε ορισμένα όργανα χρησιμοποιούνται λέιζερ διόδου στα 650nm. Η δέσμη του λέιζερ εστιάζεται στο μέσο της κυψελίδας του δείγματος που περιέχει τα υπό μέτρηση σωματίδια ως αιώρημα σε ένα υγρό. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται μια κυψελίδα δείγματος τύπου οπτικής κυψελίδας. Συνήθως, αυτή περιβάλλεται από ένα υγρό το οποίο διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία. Ο δείκτης διάθλασης του υγρού πρέπει να είναι ίδιος με εκείνον του μέσου αιώρησης. Το δείγμα πρέπει να έχει διασπαρθεί καλά στο μέσο αιώρησης. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με ήπια ανατάραξη και κάποιες φορές με ανάδευση με υπερήχους. Υπερβολική ανάδευση μπορεί να προκαλέσει σε κάποια συσσωμάτωση, ενώ σε αλλά θραύση των σωματιδίων. Θα πρέπει

να υπάρχει μια διαφορά μεταξύ των δεικτών διάθλασης του μέσου αιώρησης και τις διεσπαρμένης φάσης και πρέπει να είναι γνωστός ο δείκτης διάθλασης του διαλύτη. Ακόμη, πρέπει να είναι γνωστό και το ιξώδες του στη θερμοκρασία μέτρησης, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή της σχέσης Stokes-Einstein.



**Εικόνα 5 : Οργανολογία της τεχνικής DLS**

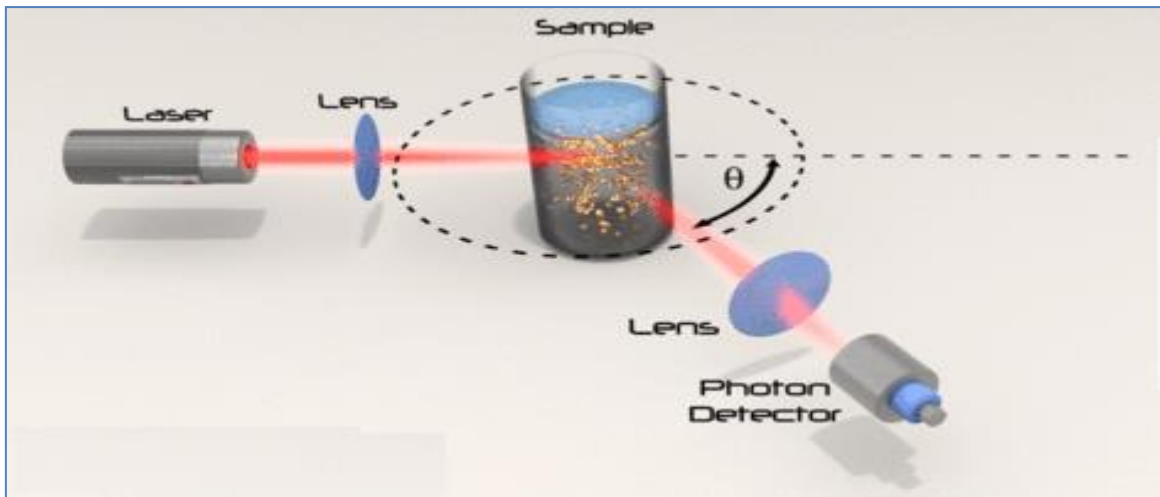
Η συγκέντρωση του δείγματος, που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, την ισχύ του λέιζερ και το δείκτη διάθλασης των σωματιδίων. Η ανώτερη συγκέντρωση καθορίζεται από φαινόμενα πολλαπλής σκέδασης, όπου το σκεδαζόμενο φως από ένα σωματίδιο επανασκεδάζεται από ένα άλλο. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις εξαρτώνται από το μέγεθος, αλλά για έναν ισχυρό σκεδαστή μια μέγιστη συγκέντρωση 0,1% είναι τυπική για σωματίδια μεγέθους 100nm. Το κατώτερο όριο συγκέντρωσης καθορίζεται από τον αριθμό των σωματιδίων στον όγκο σκέδασης. Ειδικά απαιτούνται τουλάχιστον 1000 σωματίδια. Συνήθως, απαιτείται κάποια διαδικασία του τύπου "δοκιμή και λάθος" για να βρεθεί η καταλληλότερη συγκέντρωση. Το σκεδαζόμενο φως μετράται υπό γωνία  $\theta$ , συνήθως  $90^\circ$ , ως προς την προσπίπτουσα δέσμη. Το σκεδαζόμενο φως προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοανιχνευτή που δρα ως μη γραμμικός μικτής. Ο φωτοπολλαπλασιαστής αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο φωτοανιχνευτή. Το σήμα εξόδου του φωτοπολλαπλασιαστή μπορεί να υποστεί επεξεργασία με τεχνικές απαρίθμησης φωτονίων ή ως αναλογικό φωτόρρευμα. Στη συνέχεια, η πληροφορία για το μέγεθος των σωματιδίων λαμβάνεται με ανάλυση συσχέτισης του επεξεργασμένου σήματος, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Σε κάποια εμπορικά συστήματα DLS έχουν χρησιμοποιηθεί και φωτοδιόδοι. Επιπλέον, έχουν χρησιμοποιηθεί και διπλοί φωτοανιχνευτές μαζί με επεξεργασία διασυσχετισμού για να απαλειφθεί η συνεισφορά τις πολλαπλής σκέδασης.

### 3.1.2. Στατική Σκέδαση Φωτός (SLS)

Η στατική σκέδαση φωτός (SLS) είναι μια τεχνική, στην οποία το φως λέιζερ είναι διάσπαρτο από ένα δείγμα μετρούμενη ως συνάρτηση της γωνίας σκέδασης (Block, 2010). Η γωνιακή απόκριση είναι πολύπλοκη και είναι μια συνάρτηση των προφίλ εκπομπής διπόλων και της παρεμβολής της σκέδασης του φωτός από το δείκτη διάθλασης των σωματιδίων. Αυτές οι συνεισφορές στο συνολικό γωνιακά εξαρτώμενο προφίλ σκέδασης παρέχουν πληθώρα πληροφοριών σχετικά με το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων, καθώς και τη δομή και τις αλληλεπιδράσεις στο δείγμα. Η εφαρμογή αυτή εστιάζεται στη μέτρηση του παράγοντα μορφής σωματιδίων ενός συμπυκνωμένου κολλοειδούς εναιωρήματος από το οποίο εξάγεται το μέγεθος, όπως η ακτίνα περιστροφής και κατανομή μεγέθους.

Η μοντελοποίηση των δεδομένων και η εξαγωγή ακριβών πληροφοριών για τα σωματίδια και τις δομές καθιστούν τη μέτρηση και την ανάλυση ως μεμονομένα γεγονότα σκέδασης. Συνεπώς, οι μετρήσεις SLS απαιτούν ακραία αραιώση του δείγματος προκειμένου να περιοριστεί η επίδραση της πολλαπλής σκέδασης. Ωστόσο, η τεχνική της τρισδιάστατης διασταυρούμενης συσχέτισης εξαλείφει αυτή την αναγκαιότητα και ανοίγει την πόρτα για τη μέτρηση εξαιρετικά θολών και αδιαφανών δειγμάτων.

Το όργανο που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή αυτή, είναι ένα στατικό όργανο σκέδασης φωτός ικανό να μετράει την ένταση χρόνου για πολυμερή και κολλοειδή σε αραιό διάλυμα. Ένας οπτικός πολυκαναλικός αναλυτής καταγράφει, με τελική ανάλυση χρόνου 15 ms, τη διάσπαρτη ένταση σε οποιαδήποτε γωνιακή περιοχή που εκτείνεται σε 40° (Wright; Chowdhury; Russo, 1996). Το λογισμικό απόκτησης δεδομένων επιτρέπει την ταχεία συλλογή δεδομένων έντασης σε μια χρονική ακολουθία. Αυτό το όργανο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τις ακόλουθες μεταβολές μεγέθους σε μεγάλα πολυμερή ή κολλοειδή διαστάσεων μεγαλύτερων ή και ίσων των 30nm. Είναι μια οπτική τεχνική που μετρά την ένταση του διάσπαρτου φωτός σε συνάρτηση με τη γωνία σκέδασης για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με την πηγή σκέδασης. Μία τυπική εφαρμογή είναι ο προσδιορισμός του μέσου μοριακού βάρους  $M_w$  ενός μακρομορίου όπως ένα πολυμερές ή μια πρωτεΐνη. Μέσω της μέτρησης της έντασης σκέδασης για ένα μακρομόριο σε διάφορες συγκεντρώσεις, υπολογίζεται και ένας δεύτερος συντελεστής. Ειδικές τεχνικές ανάλυσης όπως το Zimm ή το Guinier Plot μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποκτήσουν το βέλτιστο αποτέλεσμα από τα μετρηθέντα δεδομένα.



**Εικόνα 6 : Οργανολογία της τεχνικής SLS**

Για τα πειράματα σκέδασης στατικού φωτός χρησιμοποιείται ένα λέιζερ για να φωτίζει μια κυψελίδα που περιέχει το προς ανάλυση δείγμα. Ένας ή πολλοί ανιχνευτές χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της έντασης σκέδασης σε συνάρτηση με τη γωνία σκέδασης  $\theta$ , όπου φαίνεται στην εικόνα 6. Η καμπύλη σκέδασης που διαμορφώνεται, περιέχει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος του σωματιδίου σκέδασης, το σχήμα και τη μοριακή μάζα του. Για τη μέτρηση του μέσου μοριακού βάρους, τα όργανα της στατικής σκέδασης φωτός (SLS) βαθμονομούνται χρησιμοποιώντας μια καλά γνωστή παραπομπή όπως το τολουόλιο. Ο λόγος Rayleigh του τολουολίου μπορεί να ελεγχθεί σε υπάρχοντες πίνακες. Η στατική σκέδαση φωτός είναι μια άμεση τεχνική, σε αντίθεση με τις τεχνικές άμεσης απεικόνισης όπως Scanning Electron Microscope (SEM) ή Transmission Electron Microscope (TEM), όπου το δείγμα μπορεί να μετρηθεί στη φυσική του κατάσταση εφόσον η συγκέντρωση σωματιδίων είναι αρκετά μικρή για να αποφευχθούν πολλαπλές επιδράσεις σκέδασης. Οι ψευδείς μετρήσεις λόγω της πολλαπλής σκέδασης οδηγούν σε σημαντικά λάθη στις μετρήσεις SLS και DLS. Μπορούν να αποφευχθούν μόνο εάν χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές όπως η διασταυρούμενη συσχέτιση για την καταστολή της πολλαπλής σκέδασης.

Το μέγεθος των σωματιδίων των πυκνών κolloειδών συστημάτων είναι ένα πολύ πρακτικό πρόβλημα. Συνήθως, γίνεται χρήση οπτικών μεθόδων και η πολλαπλή σκέδαση συχνά καθιστά αδύνατο τον προσδιορισμό των σωστών μεγεθών σωματιδίων. Έτσι, εισάγεται ένα νέο στατικό όργανο σκέδασης φωτός το οποίο επιτρέπει τη διερεύνηση πυκνών κolloειδών συστημάτων. Αυτό το όργανο είναι μια τροποποίηση μιας εγκατάστασης Fraunhofer που διαθέτει ένα επίπεδο κύτταρο δείγματος, οπτικά συστήματα Fourier και μια ανίχνευση συστοιχιών. Το πάχος της επίπεδης κυψελίδας δείγματος μπορεί

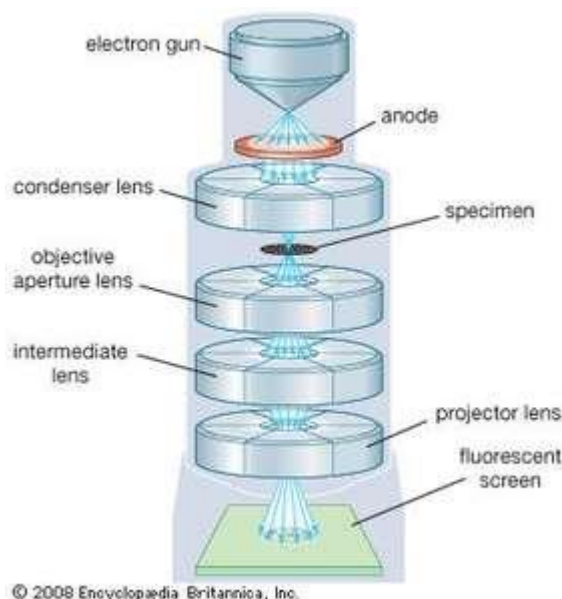
να ποικίλει από περίπου 10  $\mu\text{m}$  έως 5 mm. Το μικρό πάχος του δείγματος μειώνει σημαντικά την πολλαπλή σκέδαση και επιτρέπει τη διερεύνηση πυκνών κολλοειδών συστημάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να αποφευχθεί η πολλαπλή σκέδαση μειώνοντας μόνο το πάχος του δείγματος. Επιπλέον, τα δεδομένα με την εναπομείνασα πολλαπλή σκέδαση μπορούν να αντιστραφούν αν η μετάδοση του δείγματος αν είναι πάνω από 0,3. Η γωνιακή ρύθμιση του οργάνου μπορεί να είναι 1-60 μοίρες, ο ελάχιστος χρόνος μέτρησης είναι 1 sec και η μικρότερη απαραίτητη ποσότητα είναι περίπου 0,5 ml.

### **3.1.3. Ηλεκτρονική μικροσκοπία διέλευσης και σάρωσης (TEM & SEM)**

Η κλασική τεχνική λήψης πληροφοριών για τη φύση των επιφανειών ήταν η οπτική μικροσκοπική, η οποία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον σκοπό αυτό. Ωστόσο, η διακριτική ικανότητα της οπτικής μικροσκοπίας περιορίζεται λόγω περίθλασης σε διαστάσεις παραπλήσιες του μήκου κύματος του φωτός. Λαμβάνονται πληροφορίες με πολύ καλύτερη διακριτική ικανότητα με χρήση μιας από τις ηλεκτρονικές μικροσκοπικές μεθόδους. Δύο από τις πιο σημαντικές μεθόδους είναι η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) και η μικροσκοπία ηλεκτρονικής διέλευσης (Transmission Electron Microscopy, TEM). Οι ονομαζόμενες μέθοδοι μικροσκοπίας με σάρωση ανιχνευτήρα, που φέρονται ως σαρωτική μικροσκοπία σήραγγας (Scanning Tunneling Microscopy, STM) και μικροσκοπία ατομικών δυνάμεων (Atomic Force Microscopy, AFM) είναι μεγάλης σημασίας για τον χαρακτηρισμό επιφανειών.

Αν και οι ηλεκτρονικές μικροσκοπίες σάρωσης και διέλευσης μοιάζουν μεταξύ τους, η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης θεωρείται ότι παρέχει είδωλα εξωτερικής μορφολογίας όμοια με αυτά που βλέπει το ανθρώπινο μάτι. Αντίθετα, η ηλεκτρονική μικροσκοπία διέλευσης (TEM) αποτελείται από 3 μέρη. Υπάρχει στο πάνω μέρος μια ηλεκτρονική συσκευή (electron gun), που παράγει τη δέσμη των ηλεκτρονίων και στη συνέχεια ένα σύστημα συμπυκνωτή όπου εστιάζει τη δέσμη πάνω στο αντικείμενο. Στο μεσαίο μέρος υπάρχει ένα σύστημα παραγωγής εικόνας, όπου υπάρχει ο αντικειμενικός φακός (condenser lens), ένα κινητό στάδιο του δείγματος (specimen) και οι φακοί του προβολέα (objective aperture and intermediate lens). Στο κάτω μέρος υπάρχουν φακοί του προβολέα (projector lens) και ένα σύστημα εγγραφής εικόνων, όπως φαίνεται στην εικόνα 7. Η TEM δίνει μια πραγματική μεγενθυμένη εικόνα του δείγματος και εξετάζει την εσωτερική δομή των στερεών. Δίνει λεπτομερείς πληροφορίες για την μικροδομή, που δεν

μπορεί να γίνει ορατή από το ανθρώπινο μάτι. Πιο ειδικά, δίνει πληροφορίες για το σχήμα και τις διαστάσεις των κολλοειδών σωματιδίων όταν αυτά βρίσκονται σε ξηρή φάση.



**Εικόνα 7 : Οργανολογία της τεχνικής TEM**

Η μέθοδος της TEM έχει πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Μερικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι, ότι προσφέρει την πιο ισχυρή μεγέθυνση μέχρι και ένα εκατομμύριο φορές ή περισσότερο. Επίσης, έχει ευρύ φάσμα εφαρμογών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους επιστημονικούς, εκπαιδευτικούς και βιομηχανικούς τομείς. Παρέχει πληροφορίες για τη δομή των απλών και σύνθετων στοιχείων και πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, το σχήμα το μέγεθος και τη δομή. Οι εικόνες είναι υψηλής ποιότητας και λεπτομερείς και τέλος είναι εύκολα στη χρήση, αφού έχει προηγηθεί σωστή εκπαίδευση.

Αντιθέτως, τα μειονεκτήματα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διέλευσης είναι εξίσου αρκετά. Το μέγεθος του είναι αρκετά μεγάλο και έχει μεγάλο κόστος. Απαιτείται εργαστηριακή προετοιμασία δείγματος και τα δείγματα περιορίζονται σε αυτά που είναι διαφανή, ικανά να ανέχονται τον θάλαμο κενού και είναι αρκετά μικρά για να χωρούν στο θάλαμο. Επιπλέον, τα μικροσκόπια χρειάζονται ειδική υποδοχή και τακτική συντήρηση και είναι ευαίσθητα σε κραδασμούς και ηλεκτρομαγνητικά πεδία και πρέπει να βρίσκονται σε σημείο που απομονώνεται από πιθανή έκθεση. Τέλος, τα αποτελέσματά τους εξάγονται ως εικόνες ασπρόμαυρες.

Για την λήψη εικόνας SEM, εστιάζεται μια δέσμη ηλεκτρονίων και προσκρούει στην επιφάνεια του στερεού δείγματος. Στα αναλογικά όργανα, η δέσμη των ηλεκτρονίων σαρώνεται σε όλο το δείγμα με πηνία σάρωσης. Στα σύγχρονα όργανα, η θέση της δέσμης ελέγχεται ψηφιακά πάνω στο δείγμα. Είτε με αναλογική σάρωση, είτε με ψηφιακά συστήματα λαμβάνεται ένα σήμα από την επιφάνεια προς την κατεύθυνση z, αποθηκεύεται στον υπολογιστή, όπου τελικά μετατρέπεται σε ένα είδωλο. Σε μια τέτοια διεργασία δημιουργούνται διάφοροι τύποι σημάτων από μια επιφάνεια, όπως οπισθοσκεδαζόμενα και δευτερογενή από φωτόνια φθορισμού ακτινών X και από άλλα φωτόνια διαφόρων ενεργειών. Οι συγκεκριμένες διεργασίες χρησιμοποιούνται για μελέτες επιφανειών. Στα όργανα SEM, τα οπισθοσκεδαζόμενα και τα δευτερογενή ηλεκτρόνια ανιχνεύονται και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ειδώλου. Πολλά όργανα SEM διαθέτουν, για χημικές αναλύσεις, ανιχνευτές ακτινών X, που επιτρέπουν ποιοτικούς και ποσοτικούς προσδιορισμούς με φθορισμό ακτινών X. Όμως τα συμβατικά SEM μπορούν να προκαλέσουν προσωρινή ή μόνιμη αλλαγή στην επιφάνεια ή στη χύδην δομή του δείγματος λόγω του υψηλού κενού, της προετοιμασίας των δειγμάτων και της ζημιάς που προκαλεί η ακτινοβολία.

### **3.1.4. Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου (FFF)**

Η μονοφασική χρωματογραφία πεδίου καλείται και χρωματογραφία μιας φάσης ή και χρωματογραφία πόλωσης, καθώς ο διαχωρισμός γίνεται σε έναν αγωγό ρευστού που περιέχει μόνο μια φάση, σχεδόν μια υγρή φάση, αν και η χρήση μιας αέριας φάσης έχει αναφερθεί, ενώ έχουν γίνει προσπάθειες και για το διαχωρισμό με χρήση μιας υπερκρίσιμης ρευστής φάσης. Μια σταθερή ροή αυτής της υγρής φάσης επιτρέπει τη μεταφορά των συστατικών του δείγματος κατά μήκος της στήλης διαχωρισμού. Όλες οι τεχνικές της Μονοφασικής Χρωματογραφίας Πεδίου χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι μία δύναμη εφαρμόζεται στα μόρια ή τα σωματίδια των συστατικών του δείγματος σε κατεύθυνση κάθετη ως προς τη διεύθυνση κίνησης της ροής. Μια τέτοια δύναμη προκύπτει από ένα εξωτερικά εφαρμοζόμενο πεδίο και έτσι η ονομασία δόθηκε από τον Giddings το 1966, αλλά μπορεί επίσης να προέλθει από μία κάθετη ροή ή τις υδροδυναμικές αλληλεπιδράσεις των μορίων ή των σωματιδίων με ροή.

Αν και η επίτευξη ενός διαχωρισμού με τη Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου μπορεί να προκληθεί με διάφορες μεθόδους, η μέθοδος της ανάπτυξης ζωνών έκλυσης είναι η πιο ευρέως εφαρμοζόμενη, με εξαίρεση μια αναφορά για μετωπική ανάλυση με τη Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου. Επίσης, μια μικρή ποσότητα δείγματος εισάγεται

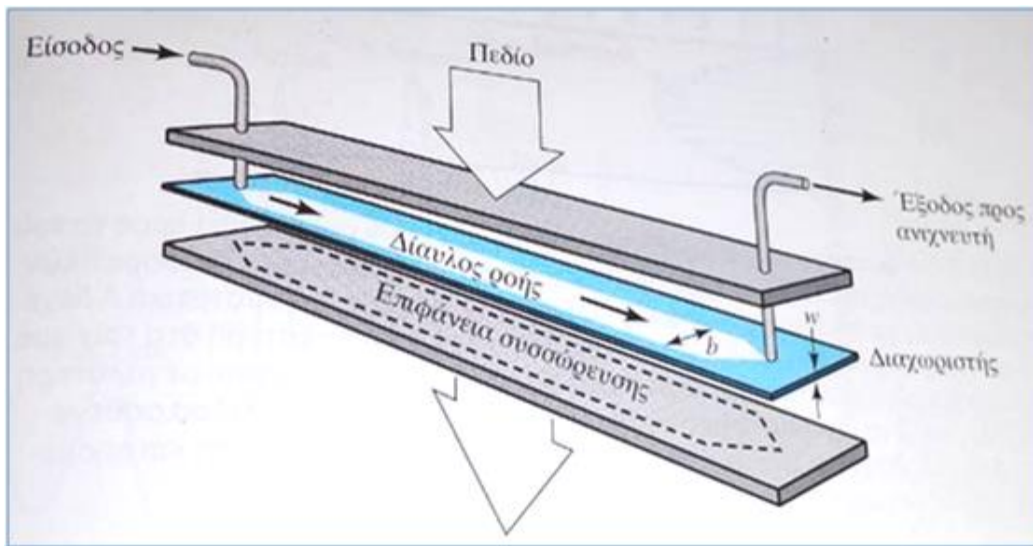
στην είσοδο της χρωματογραφικής στήλης, ταυτόχρονα οι διάφορες ζώνες ανάλυσης αναπτύσσονται εντός της στήλης καθώς τα διάφορα συστατικά μεταφέρονται με διαφορετικό τρόπο από τη ροή του φέροντος διαλύτη και διαφορετικοί χρόνοι έκλυσης των παραπάνων ζωνών αναφέρονται από ένα συγκεκριμένο ανιχνευτή που είναι συνδεδεμένος στην έξοδο της στήλης. Το γράφημα που δημιουργείται, ονομάζεται χρωματογράφημα και αποτελεί την καταγραφή του σήματος του ανιχνευτή σε σχέση με το χρόνο από την είσοδο του δείγματος στη στήλη. Εμφανίζεται ως η επίτευξη των αυξομειώσεων των συμμετρικών ζωνών ή ως ένα σύνολο διαχωρισμένων ζωνών χωρίς άκρα.

Η Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου θεωρείται ως μια σημαντική μέθοδος διαχωρισμού και χαρακτηρισμού σωματιδίων. Συνήθως, χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό ενός πλήθους φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως η μάζα και το μοριακό βάρος των αναλυόμενων σωματιδίων όπως επίσης το επιφανειακό φορτίο, η πυκνότητα, η διάμετρος και ο συντελεστής θερμικής διάχυσης. Η κλασμάτωση σε ροή υπό την επίδραση πεδίου FFF (Field-Flow Fractionation) αναφέρεται σε ένα σύνολο λεπτομερειακών τεχνικών χρήσιμων για τον διαχωρισμό και χαρακτηρισμό διαλυμένων ουσιών ή αιωρούμενων σωματιδίων όπως είναι τα κολλοειδή.

Οι διαχωρισμοί στην τεχνική κλασμάτωσης σε ροή υπό την επίδραση του πεδίου, συμβαίνουν σε ένα λεπτό ταινιωτό διάυλο ροής όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Οι διαστάσεις του είναι 25-100 cm στο μήκος, 1-3 cm στο πλάτος και 50-500  $\mu\text{m}$  το πάχος. Ο διάυλος που δημιουργείται, καλύπτεται από δύο μακρόστενες πλάκες στο πάνω και στο κάτω άκρο του διαύλου. Προς την κάθετη ροή, εφαρμόζεται ηλεκτρικό και θερμικό πεδίο ή ακόμα και σε πεδίο ζήματοποίησης. Σε πρακτικό επίπεδο όμως, το δείγμα εγχέεται στην αρχή του διαύλου, έπειτα, εφαρμόζεται το εξωτερικό πεδίο κάθετα προς τη θέση του διαύλου. Τα συστατικά του δείγματος υπό την επίδραση πεδίου μετακινούνται προς τα τοιχώματα συσσώρευσης με ταχύτητες που προσδιορίζονται από την ένταση του πεδίου με τις αλληλεπιδράσεις των συστατικών. Τα συστατικά του δείγματος φτάνουν άμεσα σε μια κατάσταση κατανομής των συγκεντρώσεων. Ο συντελεστής διάχυσης του μορίου και η ταχύτητα προς τα τοιχώματα, που επάγεται από το πεδίο, είναι σε άμεση συνάρτηση με το μέσο πάχος της στοιβάδας κάθε συστατικού. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διάχυσης, τόσο παχύτερη είναι η στοιβάδα και όσο λεπτότερη είναι η στοιβάδα κοντά στο τοίχωμα, τόσο αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης του συστατικού στο πεδίο. Λόγω του ότι, τα διάφορα συστατικά εμφανίζουν διαφορετικές τιμές στο συντελεστή διάχυσης και στην

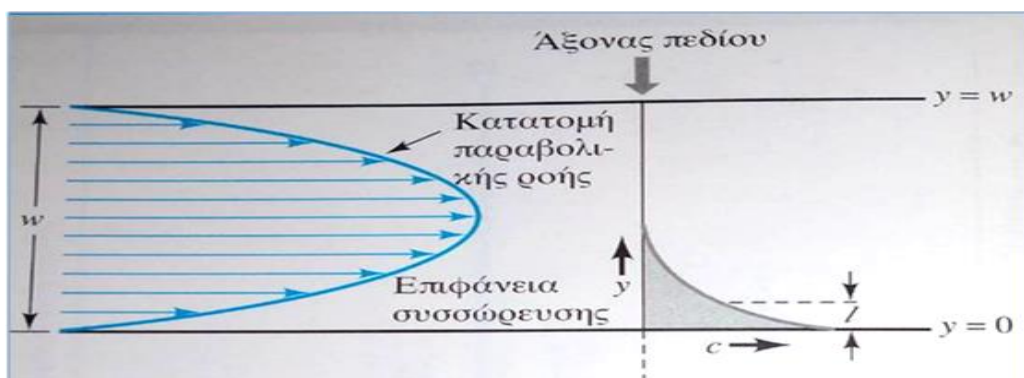


ταχύτητα, για αυτό το λόγο, οι μέσες τιμές πάχους των στρωμάτων, διαφοροποιούνται ανάλογα το συστατικό.



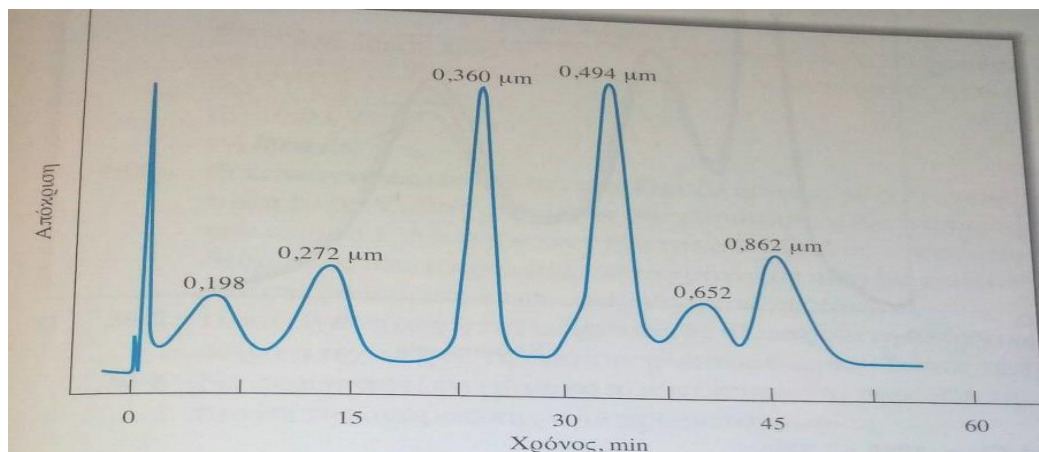
**Εικόνα 8 :** Σχηματικό διάγραμμα της διαύλου της τεχνικής FFF

Η ροή στο διάυλο είναι στρωτή και η κατατομή της είναι παραβολική, εικόνα 9. Η ροή αποκτά χαμηλές ταχύτητες στα τοιχώματα του διαύλου και υψηλές στο κέντρο του. Τα συστατικά που αλληλεπιδρούν πιο ισχυρά με το πεδίο, φτάνουν πολύ κοντά στα τοιχώματα και εκλύονται με τον κινούμενο διαλύτη. Επίσης, τα συστατικά τα οποία διαχωρίζονται με την τεχνική αυτή, διέρχονται μέσω ενός ανιχνευτή απορρόφησης ορατού φωτός UV, που βρίσκεται στην άκρη του διαύλου ροής. Στη συνέχεια, με βάση τα αποτελέσματα του διαχωρισμού διαμορφώνεται ένα διάγραμμα απόκρισης του ανιχνευτή ως προς το χρόνο, που ονομάζεται κλασματογράφημα, εικόνα 10. Για την κλασμάτωση των συστατικών σε ροή υπό την επίδραση πεδίου γίνεται χρήση κάποιων μεθόδων όπως είναι η ηλεκτρική FFF, η FFF ιζηματοποίησης και η θερμική FFF.



**Εικόνα 9**

Η ηλεκτρική FFF είναι μια τεχνική κλασμάτωσης, στην οποία το ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται κάθετα στη διεύθυνση της ροής. Πιο αναλυτικά, η κατακράτηση και ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με βάση το ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι, το τοίχωμα συσσώρευσης δέχεται σωματίδια που κινούνται γρήγορα λόγω του υψηλού τους φορτίου. Τα σωματίδια με χαμηλό φορτίο προεξέχουν περισσότερο προς την περιοχή υψηλής ροής και συμπυκνώνονται λιγότερο. Επομένως, τα σωματίδια χαμηλού φορτίου εκλούνται πρώτα και του υψηλού φορτίου καθυστερούν περισσότερο. Η μέθοδος της ηλεκτρικής κλασμάτωσης στηρίζεται στη δύναμη των ηλεκτρικών πεδίων και δίνει τη δυνατότητα για διαχωρισμό ακόμα και των μικρών ιόντων. Ωστόσο, τα ηλεκτρολυτικά φαινόμενα περιορίζουν τις εφαρμογές της τεχνικής σε μεγαλομόρια.



**Εικόνα 10 :** Κλασματογράφημα που απεικονίζει το διαχωρισμό σωματιδίων με εφαρμογή της τεχνικής FFF

Η FFF ιζηματοποίησης είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική, όπου ο διάυλος παίρνει τη μορφή πηνίου, το οποίο είναι κατάλληλο για να χωρέσει σε ένα καλάθι της φυγοκέντρου. Τα συστατικά που εκλούνται τελευταία, είναι αυτά που έχουν μεγαλύτερη μάζα, πυκνότητα και κατεύθυνση προς το τοίχωμα και λόγω της διαδικασίας της φυγοκέντρωσης, καθιζάνουν. Τα άλλα συστατικά, τα ελαφρότερα εκλούνται πρώτα. Η εκλεκτικότητα των σωματιδίων διαφόρων μεγεθών είναι σχετικά υψηλή. Λόγω κάποιων ασθενών φυγόκεντρων δυνάμεων, που ασκούνται σε μικρά μόρια, η μέθοδος FFF χρησιμοποιείται σε μόρια όπου το μοριακό βάρος ξεπερνά το  $10^6$ . Μερικά συστήματα ύλης, όπως τα φυσικά και βιομηχανικά κολλοειδή και τα γαλακτώματα, αποτελούν ουσίες που διαχωρίζονται με την τεχνική της FFF.

Η θερμική FFF είναι μια ακόμη τεχνική της κλασμάτωσης, στην οποία εφαρμόζεται ένα θερμικό πεδίο κάθετα στη διεύθυνση ροής, με τη δημιουργία μιας βαθμιαίας μεταβολής

της θερμοκρασίας κάθετα στο διάλυτο FFF. Η διαφορά της θερμοκρασίας προκαλεί μια βαθμιαία θερμική διάχυση κατά την οποία οι ταχύτητες κίνησης σχετίζονται με τον θερμικό συντελεστή διάχυσης των σωματιδίων. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για τον διαχωρισμό συνθετικών πολυμερών και κolloειδών με μοριακό βάρος  $10^3$  έως  $10^7$ .

Αρκετά πλεονεκτήματα εμφανίζει η μέθοδος της FFF σε σχέση με τις άλλες χρωματογραφικές μεθόδους. Αρχικά, δεν απαιτεί υλικό πλήρωσης ή κάποια στατική φάση για τον διαχωρισμό των σωματιδίων. Μερικοί διαλύτες ή ουσίες του δείγματος προσροφούνται ή αντιδρούν με τη στατική φάση και με το υλικό στήριξης. Τα μακρομόρια και τα σωματίδια είναι επιρρεπή σε τέτοιες βλαπτικές αλληλεπιδράσεις. Γενικότερα, οι επιδράσεις των περισσότερων εξωτερικών είναι προβλέψιμες και έχει ως αποτέλεσμα τον ακριβέστερο θεωρητικό σχεδιασμό και την ορθότερη πρόβλεψη του ύψους των θεωρητικών πλακών στην FFF, σε σχέση με τις χρωματογραφικές μεθόδους. Το εξωτερικό πεδίο ρυθμίζει την κατακράτηση της FFF και στα πεδία όπως το ηλεκτρικό και το ιζηματοποίησης, οι κάθετες δυνάμεις μπορούν να μεταβάλλονται γρήγορα και με χρονικό προγραμματισμό. Ωστόσο, οι μέθοδοι βελτιστοποιούνται εύκολα ως προς τη διαχωριστική ικανότητα και την ταχύτητα του διαχωρισμού. Αν και η κλασμάτωση σε ροή υπό την επίδραση του πεδίου είναι νέα μέθοδος στην πληθώρα των αναλυτικών μεθόδων διαχωρισμού, συμπληρώνει με επιτυχία τη χρωματογραφία. Τέλος, η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για μακρομόρια και σωματίδια, που βρίσκονται εκτός περιοχής μοριακών βαρών για διαχωρισμούς με χρωματογραφικές τεχνικές, σε αντίθεση με τις χρωματογραφικές μεθόδους που υπερέχουν για ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους.

## Συμπέρασμα

Με την παρούσα μελέτη επιχειρείται μια καταγραφή των ιδιοτήτων των κολλοειδών συστημάτων, καθώς και των κατηγοριών τους, με βάση τις φυσικές καταστάσεις του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης ουσίας, τον τύπο της αλληλεπίδρασης μεταξύ του μέσου διασποράς και της διεσπαρμένης φάσης, καθώς και τους τύπους σωματιδίων στη διεσπαρμένη φάση, στην ανάλυση των ιδιοτήτων (φυσικές, οπτικές, κινητικές, ομαδικές, ηλεκτρικές), με έμφαση ειδικά στην ηλεκτροφόρηση, καθώς και στην καταστροφή των κολλοειδών συστημάτων.

Επίσης γίνεται μια προσέγγιση για τη σπουδαιότητα των κολλοειδών συστημάτων στην καθημερινή ζωή, αφού συναντώνται στα τρόφιμα, στα φάρμακα, στη φύση, στη βιομηχανία και σε άλλους τομείς της ζωής, της οικονομίας και των επιστημών, καθώς και αποτύπωση στοιχείων για τα προϊόντα ζωικής προέλευσης με έμφαση στα βασικά τρόφιμα ζωικής προέλευσης, όπως κρέας, αυγά, γάλα. Καταγράφονται οι μέθοδοι παρασκευής κολλοειδών, δηλ. της διασκόρπισης και της συσσωμάτωσης, όπου με τη διασκόρπιση επιτυγχάνεται α) με μηχανική πέψη, β) με πέψη με ιόντα και γ) με πέψη με πλύση, και με τη συσσωμάτωση ενός κολλοειδούς τροφίμου μπορεί να προκληθεί με τρεις βασικούς τρόπους: από τη φυσική επεξεργασία (ανάδευση, θέρμανση, επεξεργασία υψηλής πίεσης κλπ.), με χημική αλλαγή (οξίνιση, προσθήκη αλάτων, πολυμερών, επιφανειοδραστικών, κλπ.), ή με ενζυματικά δράση (π.χ. ζύμωση). Ως προς το χαρακτηρισμό κολλοειδών, η εργασία εστιάζει στις μεθόδους που έχουν εφαρμογή σε τομείς των προϊόντων ζωικής προέλευσης, όπως η Δυναμική Σκέδαση Φωτός (DLS), η Στατική Σκέδαση Φωτός (SLS), η Μονοφασική Χρωματογραφία Πεδίου (FFF), η ηλεκτρονιακή μικροσκοπία διέλευσης (TEM) και η ηλεκτρονιακή μικροσκοπία σάρωσης (SEM). Η παρούσα μελέτη αποτελεί μια μεθοδολογική καταγραφή, ώστε να αποτελέσει ένα βοήθημα και μια βάση για νέες εργασίες για περαιτέρω ανάλυση των μεθόδων χαρακτηρισμού των κολλοειδών σε προϊόντα ζωικής προέλευσης.

## Πηγές-βιβλιογραφία

- A. Αρβανιτογιάννης Ιωάννης Σ. (2001), Ασφάλεια Τροφίμων, Εφαρμογή της Ανάλυσης Επικινδυνότητας και Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου (HACCP) στις Βιομηχανίες Τροφίμων και Ποτών, 76, University Studio Press.
- B. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2015. Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, Καμινारीδης Στέλιος/ Μοάτσου Γκόλφω, «Γαλακτοκομία». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015
- C. Γεωργίου Σ. Καραϊσκάκη (1995), Φυσικοχημεία, 421-472, Τραύλος Εκδοτικός οίκος
- D. Ιωάννης Μπλούκας (2007), Τεχνολογία Κρέατος, Εκδόσεις Σταμούλης
- E. Κωνσταντίνος Σ. Σφλώμος (2011), Χημεία Τροφίμων με Στοιχεία Διατροφής, Στοιχεία Διατροφής του ανθρώπου
  
- I. Ian D. Block (2010), Characterizing concentrated colloidal suspensions by static light scattering (SLS), LS Instruments
- II. Colloidal Gold, Sónia Alexandra Correia Carabineiro, Laboratório de Catálise e Materiais (LCM)
- III. Owen R. Fennema (1976), Principles of Food Science Part I, Food Chemistry, 540-541
- IV. Pecsok; Shields; Cairns; McWilliam (1980), Σύγχρονες Μέθοδοι στη Χημική Ανάλυση, Εκδόσεις Πνευματικός
- V. Douglas A. Skoog; F. James Holler; Stanley R. Crouch (2007), Αρχές Ενόργανης Ανάλυσης, 1095, Κωσταράκη Εκδόσεις
- VI. Deborah Valenze (2011), Milk, A Local and Global History, 1-13, Yale University Press
- VII. Hannah Velten (2010), Milk, A Global History, 7-12, Reaktion Books
- VIII. Lucille Smith Wright; Aslam Chowdhury; Paul Russo (1996), Static light scattering instrument for rapid and time resolved particle sizing in polymer and colloid solutions

1. <https://www.emedicalprep.com/study-material/chemistry/surface-chemistry/purification-of-colloidal-solution/>
2. <https://www.lenntech.com/electrodialysis.htm>
3. <https://slideplayer.com/slide/7005389/>
4. <https://www.uoguelph.ca/foodscience/book-page/casein-micelle-stability>