



Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων

Ενότητα 7: Φυγοκέντριση, 1ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής Του Ανθρώπου

Σταύρος Π. Γιαννιώτης, Καθηγητής Μηχανικής Τροφίμων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Μαθησιακοί Στόχοι

- Αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικού διαχωρισμού
- Φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες με δίσκους
- Φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες με ατέρμονα κοχλία
- Κυκλώνες



Λέξεις Κλειδιά

- Καθίζηση
- Διαύγαση
- Διαχωριστήρας 2 φάσεων
- Διαχωριστήρας 3 φάσεων
- Ελαφριά φάση
- Βαριά φάση
- Ουδέτερη ζώνη
- G διαχωριστήρα
- Τερματική ταχύτητα



Μηχανικοί Διαχωρισμοί

- Εφαρμόζονται σε ετερογενή μίγματα και όχι σε ομογενή διαλύματα
- Βασίζονται στις διαφορές μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων των συστατικών του μίγματος όπως του σχήματος, του χρώματος, του μεγέθους και της πυκνότητας

Παραδείγματα

Διαχωρισμός υγρού από υγρό (π.χ. λάδι από νερό), στερεού από υγρό ή αέριο (π.χ. σκόνη γάλα από αέρα) και στερεού από στερεό (π.χ. αλεύρι από πίτυρα).



Διαχωρισμός με Βαρύτητα ^{1/6}

Αρχή λειτουργίας

Σε ένα αιώρημα στερεών σωματιδίων σε ρευστό ή σε ένα γαλάκτωμα η ελαφριά φάση θα διαχωριστεί από τη βαριά φάση **υπό την επίδραση της βαρύτητας** εάν το σύστημα αφεθεί σε ηρεμία ορισμένο χρόνο π.χ. διαύγαση του κρασιού ή του ελαιολάδου, διαχωρισμός της κρέμας του γάλακτος, διαχωρισμός λαδιού από νερό κ.ά.





Διαχωρισμός με Βαρύτητα 2/6

Υπό την προϋπόθεση ότι η συγκέντρωση των σωματιδίων ή των σταγονιδίων στο αιώρημα δεν είναι μεγάλη (<0.2% κατ' όγκο) έτσι ώστε η κίνηση των σωματιδίων να μην επηρεάζεται από τα άλλα σωματίδια, το ισοζύγιο ορμής σε σωματίδιο που κινείται στο πεδίο βαρύτητας θα είναι:

$$m_p \frac{dv}{dt} = F_G - F_B - F_D$$

όπου

m_p μάζα σωματιδίου

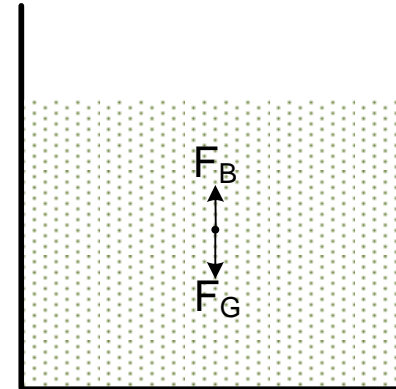
v ταχύτητα σωματιδίου

t χρόνος

F_G δύναμη βαρύτητας

F_B δύναμη άνωσης

F_D δύναμη τριβής





Διαχωρισμός με Βαρύτητα 3/6

Η δύναμη βαρύτητας είναι

$$F_G = m_p g$$

Η δύναμη άνωσης είναι

$$F_B = V_p \rho g = \frac{m_p}{\rho_p} \rho g$$

Η δύναμη τριβής είναι

$$F_D = \frac{1}{2} C_D v^2 \rho A_p$$

όπου

V_p όγκος σωματιδίου

ρ πυκνότητα του ρευστού

ρ_p πυκνότητα του σωματιδίου

A_p διατομή σωματιδίου

C_D συντελεστής τριβής



Διαχωρισμός με Βαρύτητα 4/6

Ο συντελεστής τριβής θα είναι:

$$C_D = \frac{24}{Re_p} \quad \text{για } Re_p < 2$$

$$C_D = \frac{18.5}{Re_p^{0.6}} \quad \text{για } 2 < Re_p < 500$$

$$C_D = 0.44 \quad \text{για } 500 < Re_p < 200000$$

όπου

$$Re_p = \frac{D_p v \rho}{\mu}$$

D_p διάμετρος σωματιδίου, m
 v ταχύτητα σωματιδίου, m/s
 ρ πυκνότητα ρευστού, kg/m³
 μ ιξώδες ρευστού, Pas



Διαχωρισμός με Βαρύτητα 5/6

Για $Re_p < 2$ και για $dv/dt=0$ από το ισοζύγιο ορμής προκύπτει ότι η τερματική ταχύτητα του σωματιδίου στο πεδίο βαρύτητας θα είναι:

$$v_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} g$$

όπου

v_t τερματική ταχύτητα σωματιδίου, m/s



Διαχωρισμός με Βαρύτητα 6/6

Παράδειγμα

Να υπολογιστεί ο χρόνος που θα απαιτηθεί προκειμένου ένα στερεό σωματίδιο που ευρίσκεται μέσα σε λάδι να καθιζήσει στον πυθμένα του δοχείου, εάν η διάμετρος του σωματιδίου και η πυκνότητα του είναι 0.1 mm και 1100 kg/m³ αντίστοιχα, η πυκνότητα και το ιξώδες του λαδιού είναι 910 kg/m³ και 84 mPas αντίστοιχα, η δε απόσταση που πρέπει να διανύσει το σωματίδιο από τη θέση που ευρίσκεται μέχρι τον πυθμένα είναι 2 m.

Λύση

Από την εφαρμογή της σχέσης υπολογισμού της τερματικής ταχύτητας, προκύπτει:

$$v_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} g = \frac{0.0001^2 (1100 - 910)}{18 (84 \cdot 10^{-3})} 9.81 = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{2}{1.23 \cdot 10^{-5}} = 162240 \text{ s} = 45 \text{ h}$$



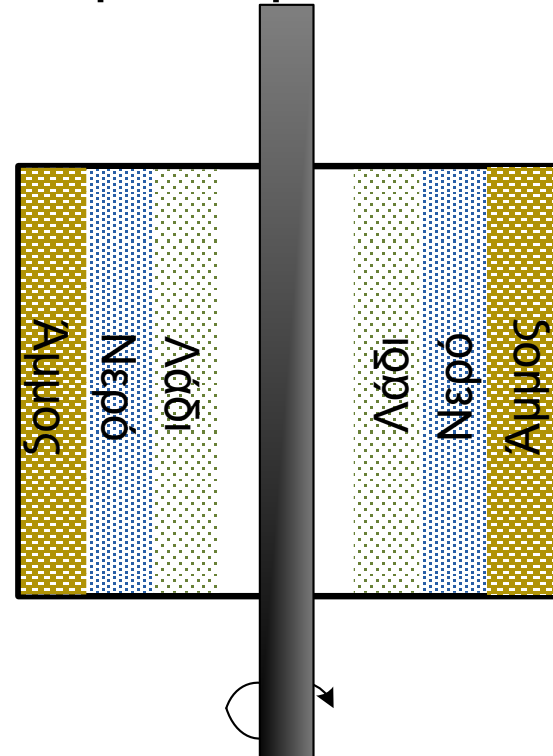
Φυγοκεντρικός Διαχωρισμός ^{1/2}

Αρχή λειτουργίας

Πεδίο βαρύτητας



Φυγοκεντρικό πεδίο





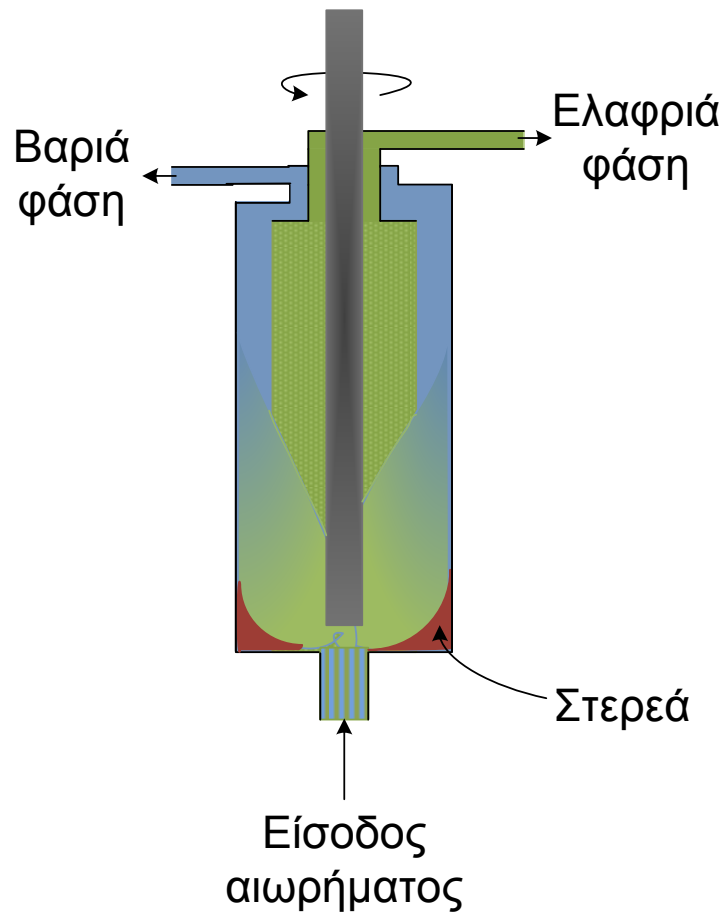
Φυγοκεντρικός Διαχωρισμός ^{2/2}

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες διακρίνονται σε:

- Φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες κυλινδρικού δοχείου
- Φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες με δίσκους
- Φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες με ατέρμονα κοχλία
- Κυκλώνες



Φυγοκεντρικός Διαχωριστήρας Κυλινδρικού Δοχείου



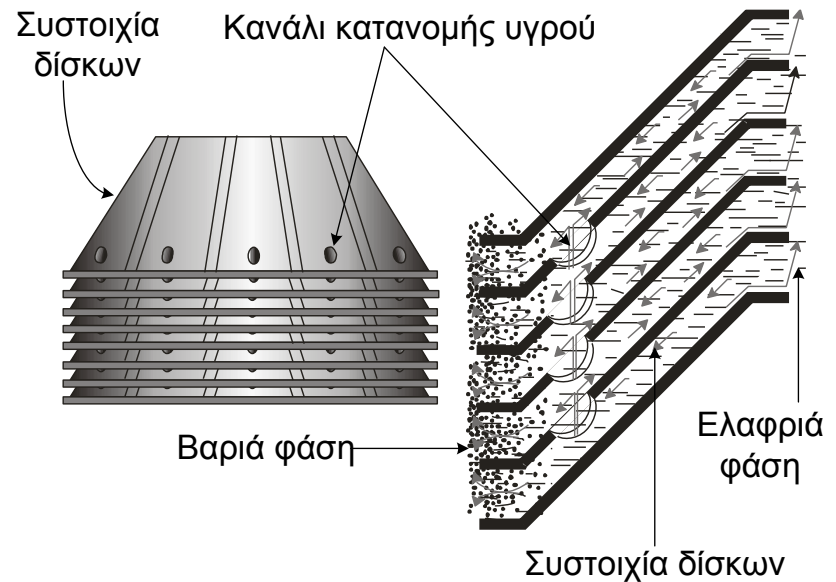
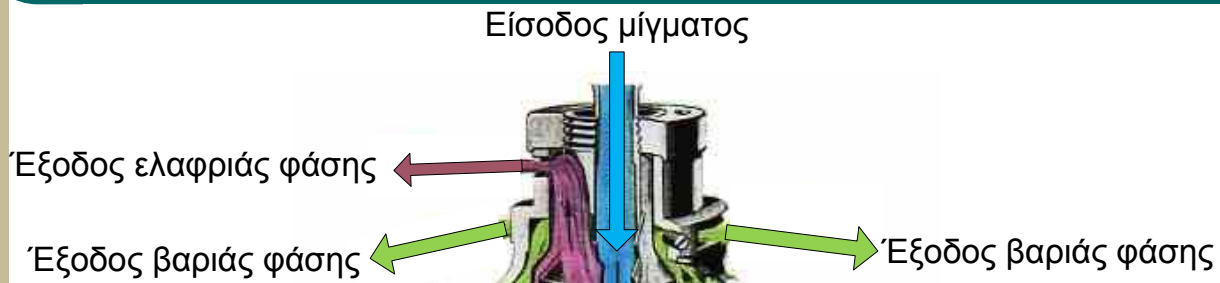


Φυγοκεντρικός Διαχωριστήρας με Δίσκους 1/4





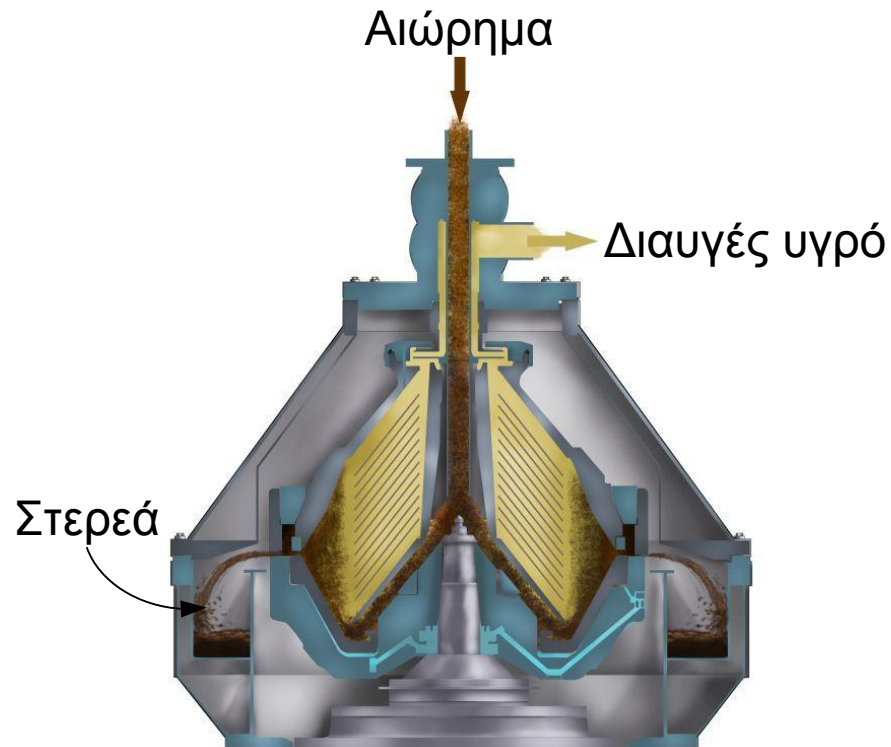
Φυγοκεντρικός Διαχωριστήρας με Δίσκους 2/4





Φυγοκεντρικός Διαχωριστήρας με Δίσκους 3/4

Για διαύγαση (διαχωρισμός στερεών από υγρό) χρησιμοποιούνται δίσκοι χωρίς οπές κατανομής του αιωρήματος.

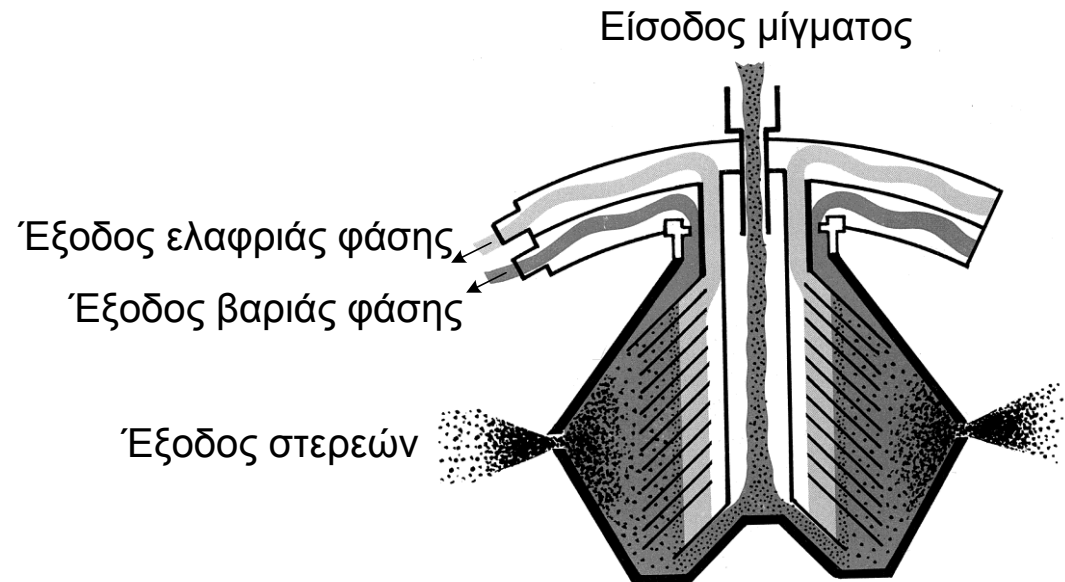




Φυγοκεντρικός Διαχωριστήρας με Δίσκους 4/4

Για την απομάκρυνση των στερεών και διαχωρισμό του υγρού σε βαριά και ελαφριά φάση, υπάρχουν:

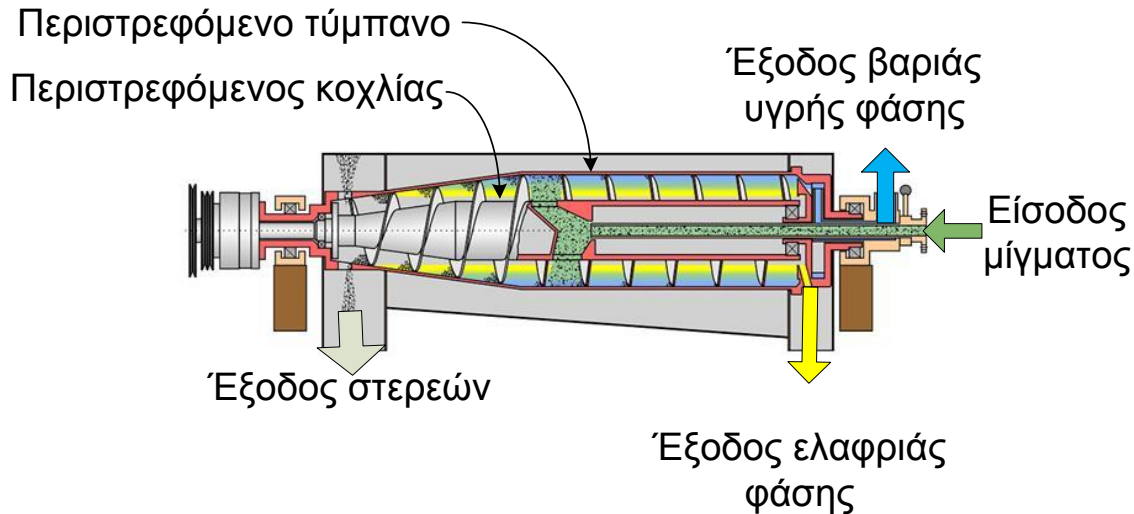
- Διαχωριστήρες με βαλβίδες όπου οι βαλβίδες ανοίγουν σε τακτά χρονικά διαστήματα για την απομάκρυνση των στερεών (περιεκτικότητα σε στερεά <math><10\%</math>)
- Διαχωριστήρες με ακροφύσια με συνεχή ροή στερεών (περιεκτικότητα σε στερεά 10-25%)





Διαχωριστήρας με Ατέρμονα Κοχλία (Decanter) ^{1/2}

Για διαχωρισμό μιγμάτων μέχρι και 50% σε στερεά, χρησιμοποιείται ο διαχωριστήρας με ατέρμονα κοχλία



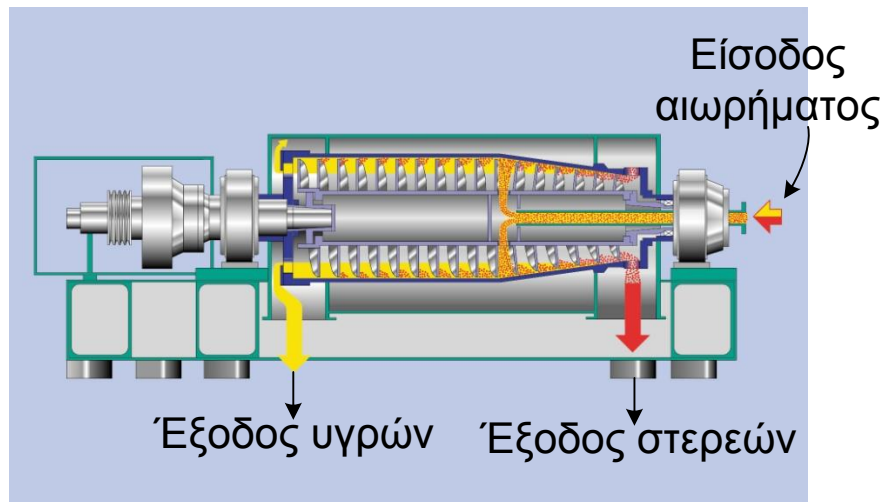
Κοχλίας



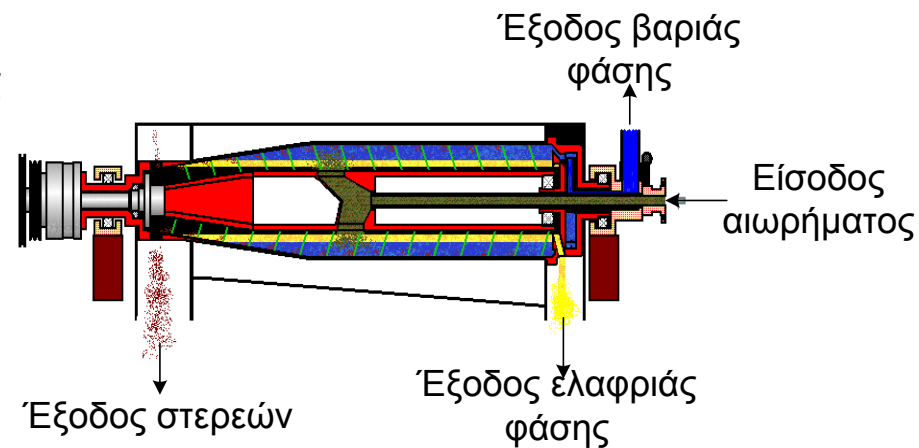


Διαχωριστήρας με Ατέρμονα Κοιλία (Decanter) ^{2/2}

Διαχωριστήρας με ατέρμονα κοιλία 2 φάσεων

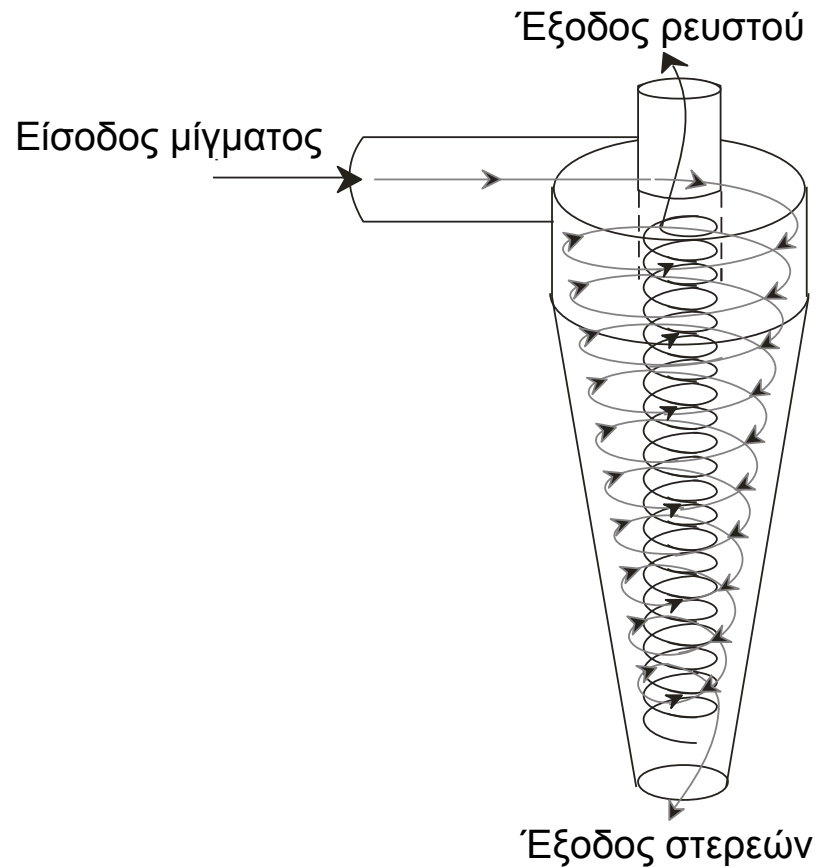


Διαχωριστήρας με ατέρμονα κοιλία 3 φάσεων





Κυκλώνας





Ανάλυση Φυγοκεντρικού Διαχωρισμού ^{1/5}

Για κίνηση ενός σωματιδίου στο πεδίο βαρύτητας είχαμε:

$$v_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} g$$

Για κίνηση ενός σωματιδίου σε φυγοκεντρικό πεδίο έχουμε αντίστοιχα:

$$v_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} \omega^2 R$$

όπου

v_t τερματική ταχύτητα σωματιδίου, m/s

ω γωνιακή ταχύτητα, 1/s

R ακτίνα φυγοκεντρικού πεδίου, m



Ανάλυση Φυγοκεντρικού Διαχωρισμού ^{2/5}

Σύγκριση φυγοκεντρικού πεδίου και πεδίου βαρύτητας

$$G = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{(2\pi n)^2 R}{g} = \frac{RN^2}{894}$$

όπου

n RPS (Revolutions Per Second)

N RPM (Revolutions Per Minute)

Το G ενός φυγοκεντρικού διαχωριστήρα δίνει πόσες φορές ταχύτερα κινείται ένα σωματίδιο μέσα σ' ένα ρευστό στο διαχωριστήρα σε σχέση με το πεδίο βαρύτητας



Ανάλυση Φυγοκεντρικού Διαχωρισμού ^{3/5}

Παράδειγμα

Πόσα “G” αναπτύσσει ένας φυγοκεντρικός διαχωριστήρας σε ακτίνα $R=10\text{cm}$ που λειτουργεί με 2500 RPM.

Λύση

$$G = \frac{RN^2}{894} = \frac{0.10 * 3000^2}{894} = 1007$$



Ανάλυση Φυγοκεντρικού Διαχωρισμού 4/5

Ουδέτερη ζώνη

Σε ένα φυγοκεντρικό διαχωριστήρα που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό δύο υγρών π.χ. λάδι από νερό, η ακτίνα διαχωρισμού των δύο φάσεων (λάδι από νερό) μέσα στο διαχωριστήρα ονομάζεται ουδέτερη ζώνη. Η ακτίνα της ουδέτερης ζώνης μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$\rho_B (R_0^3 - R_B^3) = \rho_E (R_0^3 - R_E^3)$$

όπου

ρ_B και ρ_E πυκνότητα βαριάς και ελαφριάς φάσης αντίστοιχα

R_0 ακτίνα της ουδέτερης ζώνης

R_B ακτίνα εξόδου της βαριάς φάσης

R_E ακτίνα εξόδου της ελαφριάς φάσης



Ανάλυση Φυγοκεντρικού Διαχωρισμού 5/5

Ρύθμιση ουδέτερης ζώνη

Όσο πιο κοντά προς την περιφέρεια είναι η ουδέτερη ζώνη, τόσο πιο αμιγής θα είναι η ελαφριά φάση (π.χ. λάδι). Όσο πιο κοντά προς τον άξονα του διαχωριστήρα είναι η ουδέτερη ζώνη τόσο πιο αμιγής θα είναι η βαριά φάση (π.χ. νερό).

Με ρύθμιση της ακτίνας εξόδου της βαριάς ή της ελαφριάς φάσης μπορεί να ρυθμιστεί η θέση της ουδέτερης ζώνης



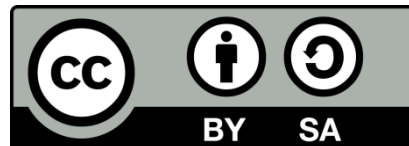
Βιβλιογραφία

- Σ. Γιαννιώτη, Παραδόσεις Μηχανικής Τροφίμων
- P.R.Singh & D.R. Heldman, Introduction to Food Engineering, Academic Press
- Mac Cabe & Smith, Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής
- C. Geankoplis, Transport Processes and Unit Operations



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





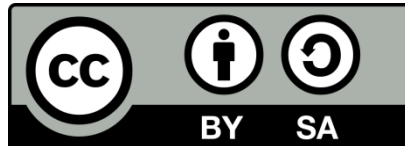
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, Στάυρος Π. Γιαννιώτης. «Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDFSHN108/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
 - το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.