

# Φυσικές Διεργασίες Ι

- ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΉ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

ΧΡΙΣΤΑΚΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

# Απόσταξη



04/11/2021



Φυσικές Διεργασίες

2

# Απόσταξη

- Είναι μια μέθοδος διαχωρισμού των συστατικών ενός μίγματος, η οποία βασίζεται στην κατανομή των συστατικών μεταξύ των φάσεων ατμού και υγρού.
- Εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου όλα τα συστατικά του μίγματος είναι παρόντα και στις δύο φάσεις.
- Η μία φάση προκύπτει από την άλλη με απλή εξάτμιση ή συμπύκνωση

## Απλές Αποστάξεις

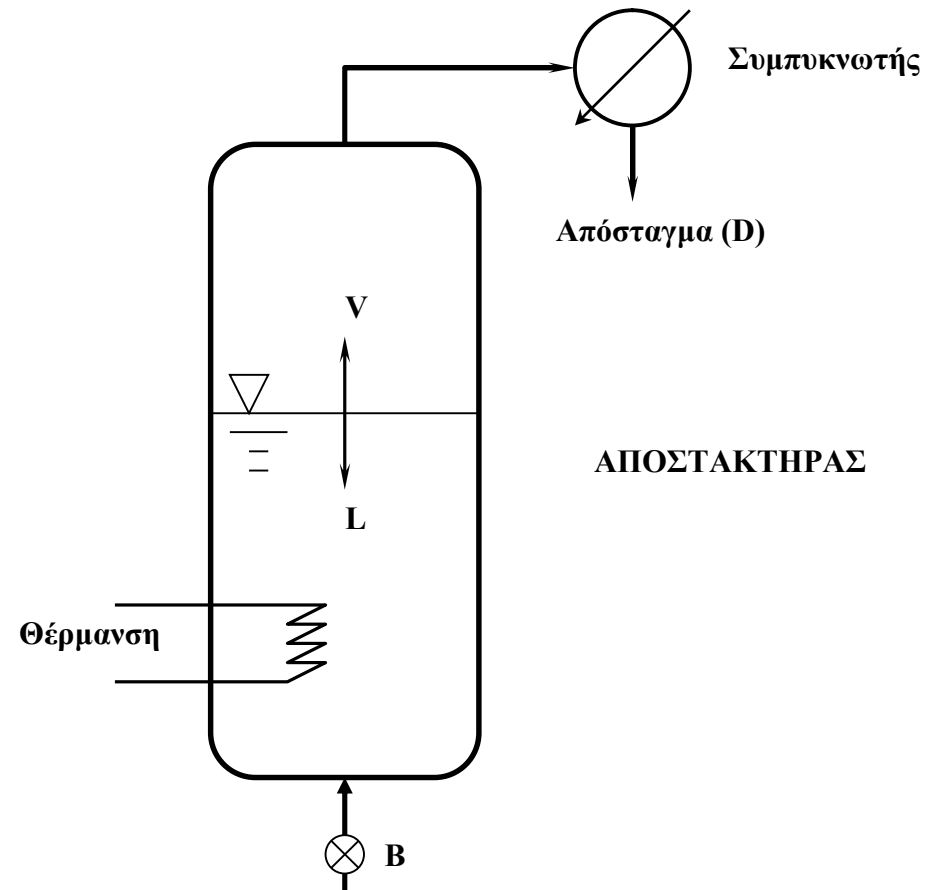
- Απόσταξη ισορροπίας (Equilibrium or Flash distillation)
- Διαφορική Απόσταξη (Differential distillation)

Οι απλές αποστάξεις και χρησιμοποιούνται σε μονάδες μικρών όγκων παραγωγής ή σε συστήματα εργαστηριακής κλίμακας.

**Απλές Αποστάξεις –**  
**(α) Διαφορική Απόσταξη (Differential Distillation)**



# Απλές Αποστάξεις – (α) Διαφορική Απόσταξη (Differential Distillation)



Σχήμα 2.15: Διάταξη διαφορικής απόσταξης

# Απλές Αποστάξεις –

## (β) Απόσταξη Ισορροπίας (equilibrium ή Flash Distillation)

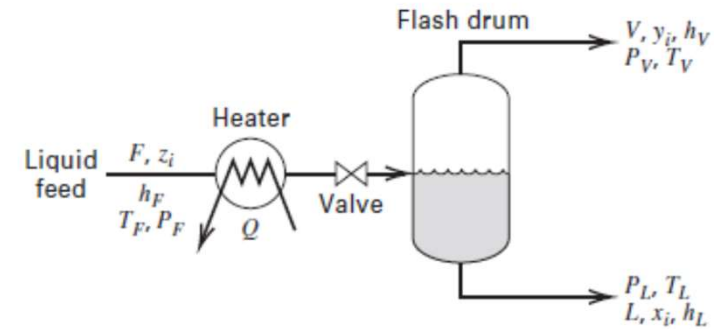
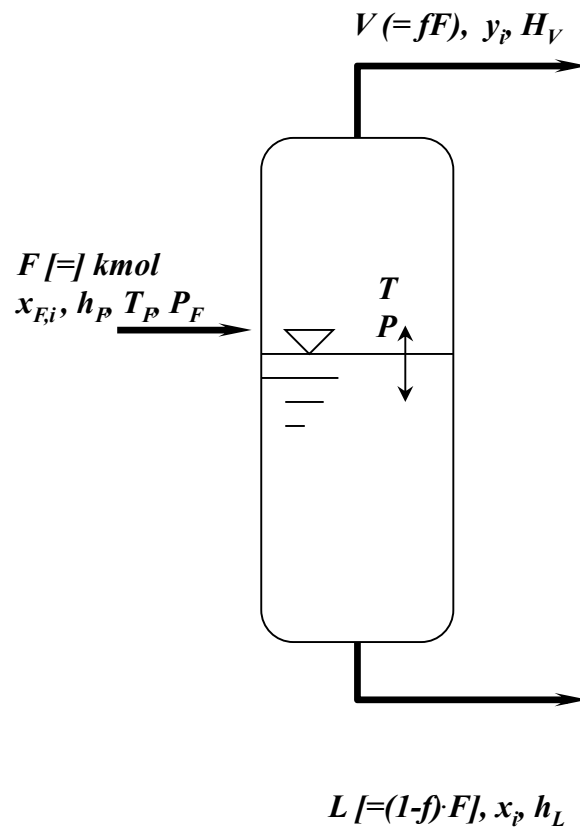


Figure 4.8 Continuous flash vaporization

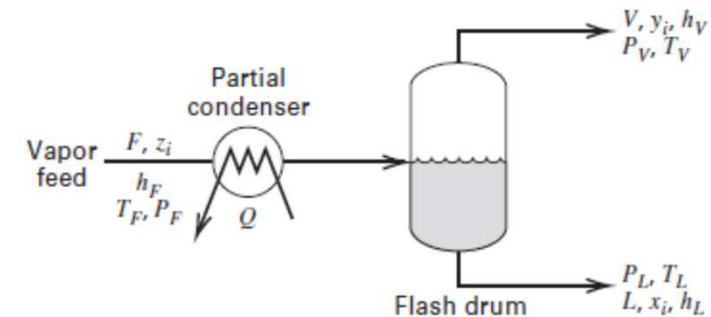


Figure 4.9 Continuous partial condensation.

### Διάταξη απόσταξης ισορροπίας (equilibrium or Flash Distillation)

# Κλασματική Απόσταξη

- Είναι η διεργασία διαχωρισμού μίγματος σε στήλη **επαφής ατμών-υγρού**, όπου οι ατμοί ρέουν κατ' αντιστροφή προς το υγρό και επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ των δύο φάσεων καθ' όλο το ύψος της στήλης.
- Η κατεύθυνση του ατμού-υγρού είναι προς τα πάνω και η συγκέντρωση των πτητικών αυξάνεται προς την κατεύθυνση ροής του ατμού
- Η επαφή ατμών-υγρού επιτυγχάνεται με ειδικούς δίσκους (**στάδια ή βαθμίδες**), εξ' ου και η ονομασία «Αποστακτικές στήλες με δίσκους»

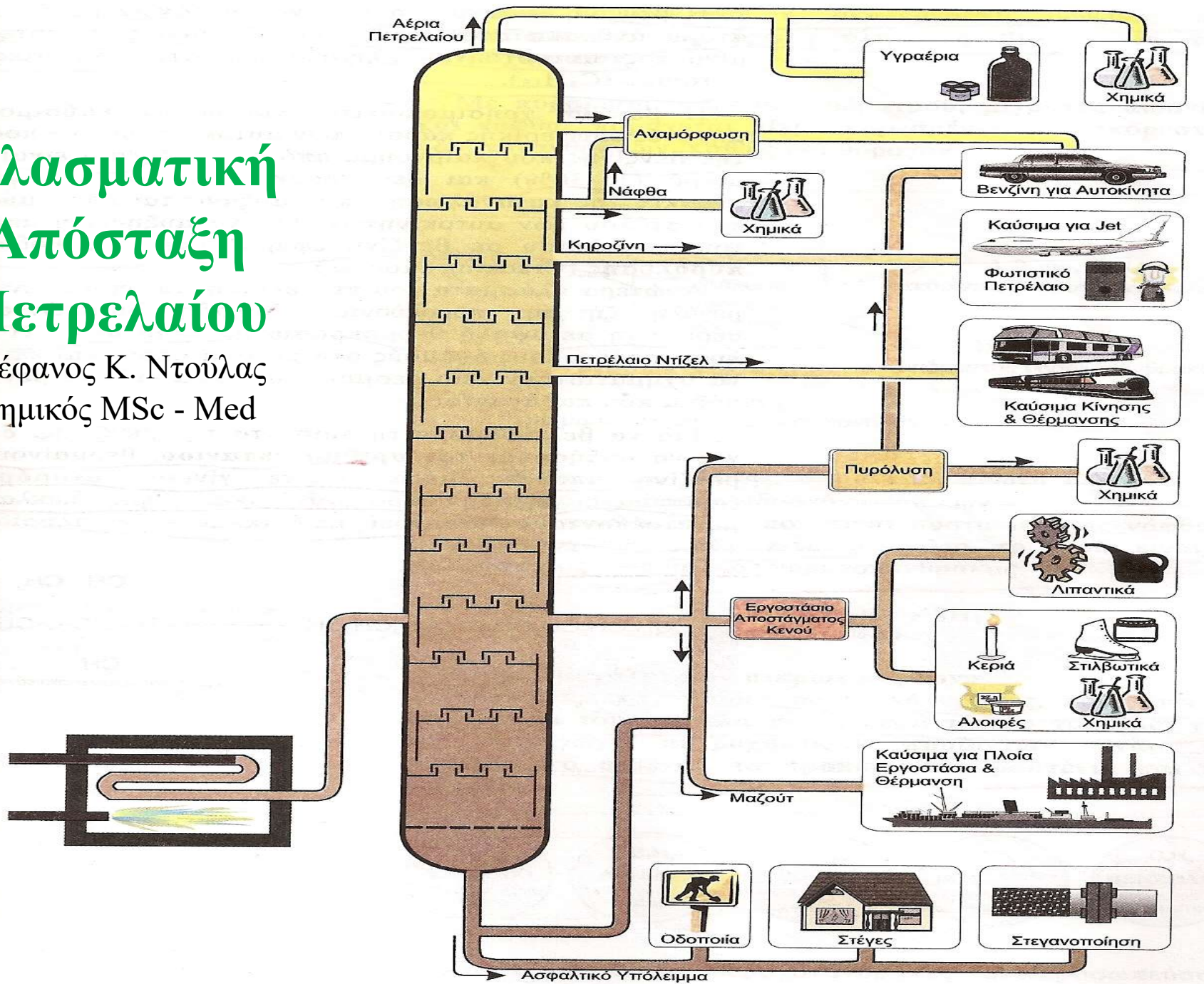
# Κλασματική Απόσταξη





# Κλασματική Απόσταξη Πετρελαίου

Στέφανος Κ. Ντούλας  
Χημικός MSc - Med



## Φυσικές Διεργασίες

### ΝΑΦΘΑ

Η **νάφθα** είναι *ενδιάμεσο* προϊόν [δύλισης](#) του [πετρελαίου](#). Δηλαδή δεν αποτελεί τελικό εμπορεύσιμο καύσιμο, αλλά προϊόν της πρώτης απόσταξης του αργού, ή και προϊόν άλλων διεργασιών όπως η καταλυτική πυρόλυση και άλλες, το οποίο τυγχάνει κατόπιν περαιτέρω επεξεργασίας για να δώσει καύσιμα προϊόντα επιθυμητών προδιαγραφών όπως η [βενζίνη](#)<sup>[1]</sup>. Ο όρος **νάφθα** είναι ένας **αρκετά γενικός όρος** και όχι αρκετά ακριβής όρος, διότι κάθε ένα διωλιστήριο δεν είναι ποτέ ακριβώς το ίδιο με κάποιο άλλο και η «νάφθα» που παράγει κάποια μονάδα δεν είναι η ίδια με τη «νάφθα» κάποιας άλλης. Ωστόσο γενικά μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται **για μείγμα υδρογονανθράκων που έχει αρχικό σημείο βρασμού περίπου 35 °C και τελικό σημείο βρασμού περίπου 200 °C και αποτελείται κυρίως από παραφίνες, ναφθένια και αρωματικούς υδρογονάνθρακες τεσσάρων ως και δέκα ή έντεκα ατόμων άνθρακα.**

Το σημείο ανάφλεξης της **νάφθας** είναι από -2 έως 37 βαθμούς Κελσίου περίπου και το [σημείο αυτανάφλεξης](#) στους 227 °C.<sup>[2]</sup>

Νάφθα δηλαδή αποκαλείται γενικά, αλλά όχι μόνο, το κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου που βρίσκεται μεταξύ του [LPG](#) (δηλαδή των αερίων της κορυφής της απόσταξης) και της [κηροζίνης](#). Το κλάσμα αυτό αποτελείται κυρίως από αλκάνια και ναφθένια με 5 έως 9 άτομα άνθρακα.

Η **νάφθα** ως παράγωγο του πετρελαίου ανήκει στα [πετροχημικά προϊόντα](#).

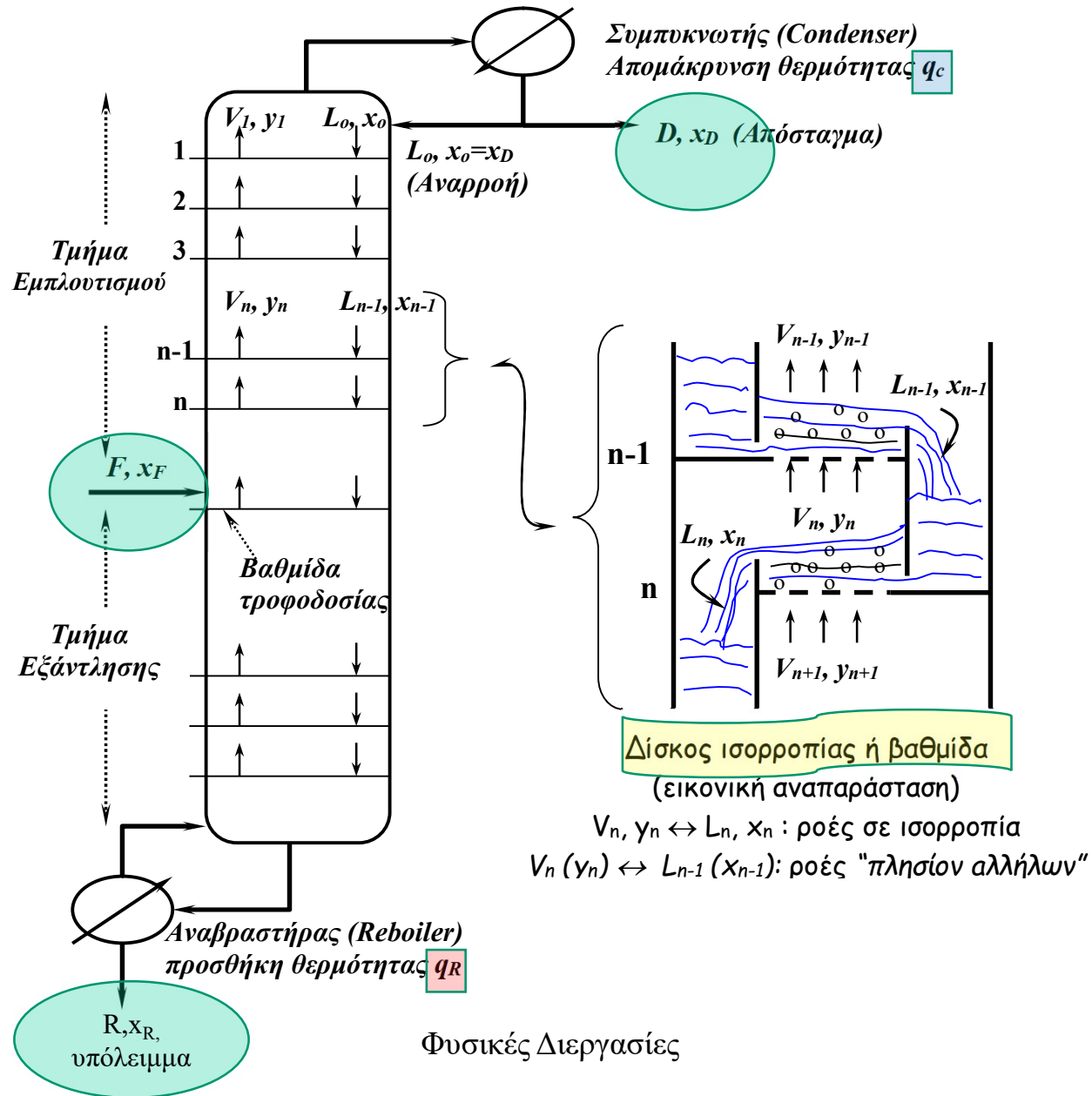
**Με το όνομα **νάφθα** χαρακτηρίζεται και το ακάθαρτο [πετρέλαιο](#) καθώς και διάφορα κλάσματα [λιθανθρακόπισσας](#) τα οποία περιέχουν κυρίως ξυλόλιο και άλλα ανώτερα ομόλογα**

# Φυσικές Διεργασίες

## Παραφίνες

Παλαιότερα, πριν την επιβολή της ονοματολογίας της Γενεύης, **τα αλκάνια** και οι άλλοι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες ονομάστηκαν παραφίνες εκ των λατινικών λέξεων "parum" (= ολίγον) και "affinas" (= συγγένεια) και αυτό λόγω της χαρακτηριστικής τους χημικής σταθερότητας και αδράνειας που παρουσιάζουν έναντι των περισσοτέρων αντιδραστηρίων. Συνεχίζεται όμως να υφίσταται σύγκριση σε πολλά χημικά εγχειρίδια, αλλά οι παραφίνες αποτελούν γνήσιο υπερσύνολο των αλκανίων. Οι **παραφίνες**, αποτελούν παλαιότερη κατηγορία, που χρησιμοποιεί κυρίως η Χημική Βιομηχανία, που είναι όμως ευρύτερη, αφού περιλαμβάνει όλους τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες. **Δηλαδή περιλαμβάνει όχι μόνο τα αλκάνια, αλλά και τα κυκλοαλκάνια, τα δικυκλοαλκάνια και κάθε άλλη ομόλογη σειρά υδρογονανθράκων που δεν περιέχει κανέναν πολλαπλό (διπλό ή τριπλό) δεσμό.** Ο γενικός τύπος των αλκανίων δεν ισχύει για όσες παραφίνες έχουν βαθμό ακορεστότητας  $> 0$ , δηλαδή για όσες παραφίνες περιέχουν δακτυλίους, καθένας από τους οποίους προσθέτει +1 στο βαθμό ακορεστότητας κάθε ένωσης.

# Φυσικές Διεργασίες





# Κλασματική Απόσταξη

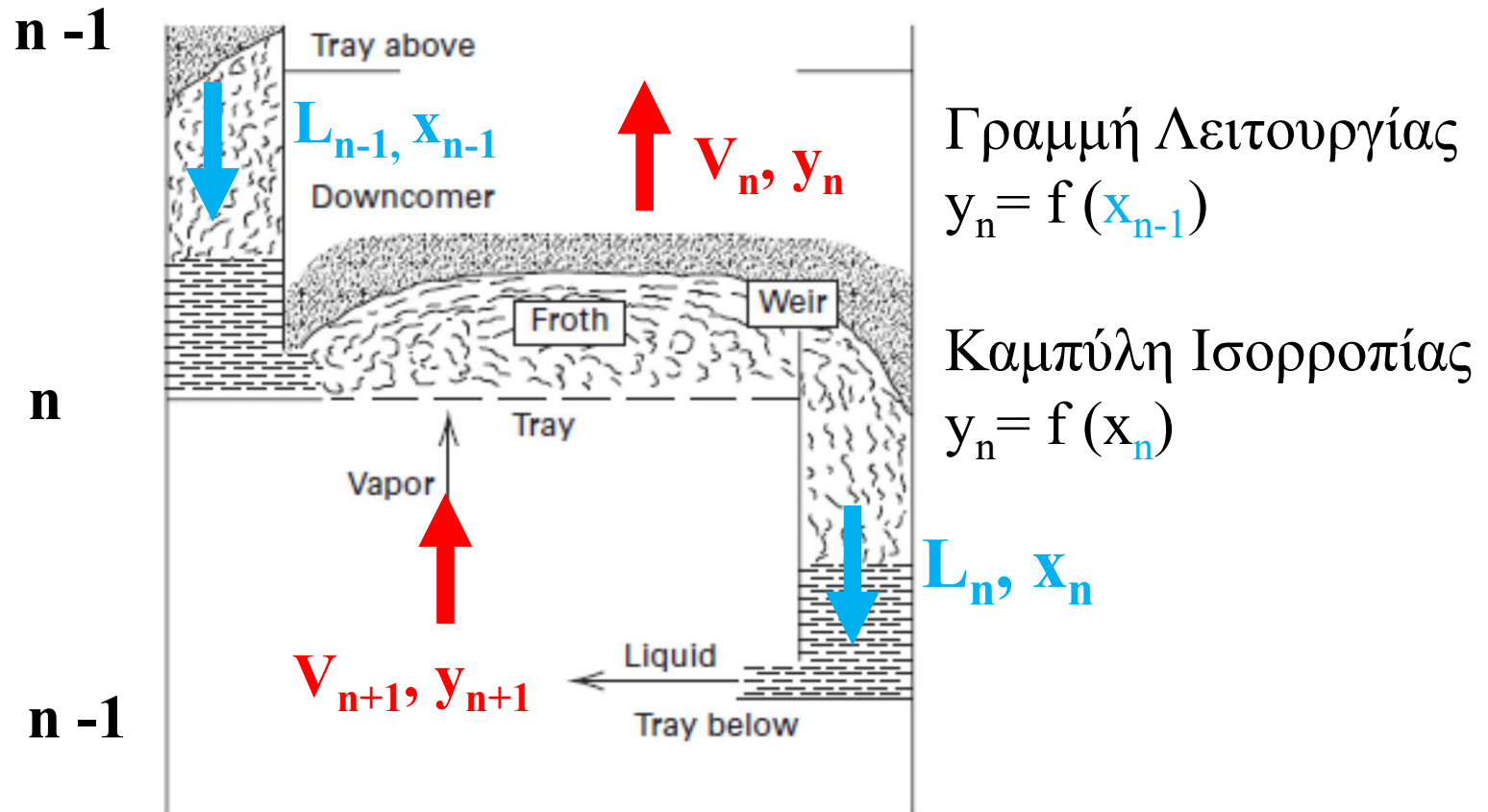
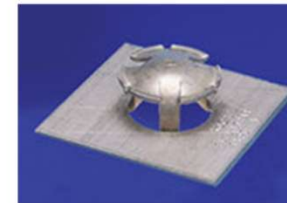
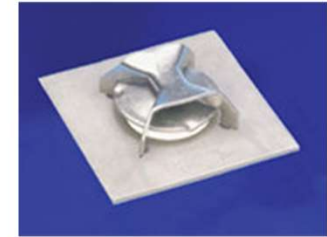
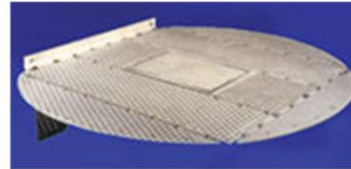


Figure 5.8 Typical vapor-liquid contacting tray.

# Κλασματική Απόσταση Βαθμίδες Ισορροπίας

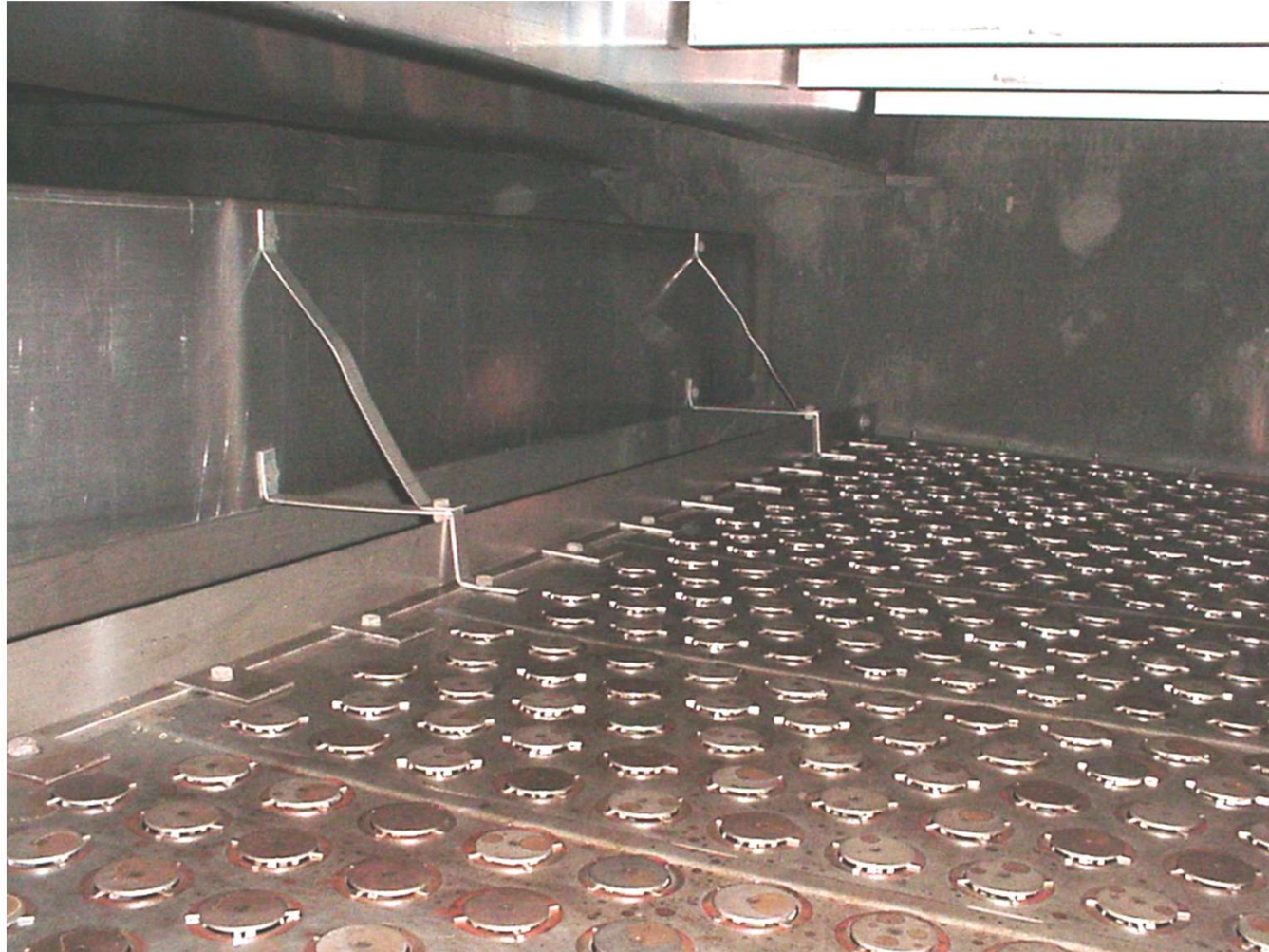


# Κλασματική Απόσταξη Βαθμίδες Ισορροπίας





# Κλασματική Απόσταξη Βαθμίδες Ισορροπίας

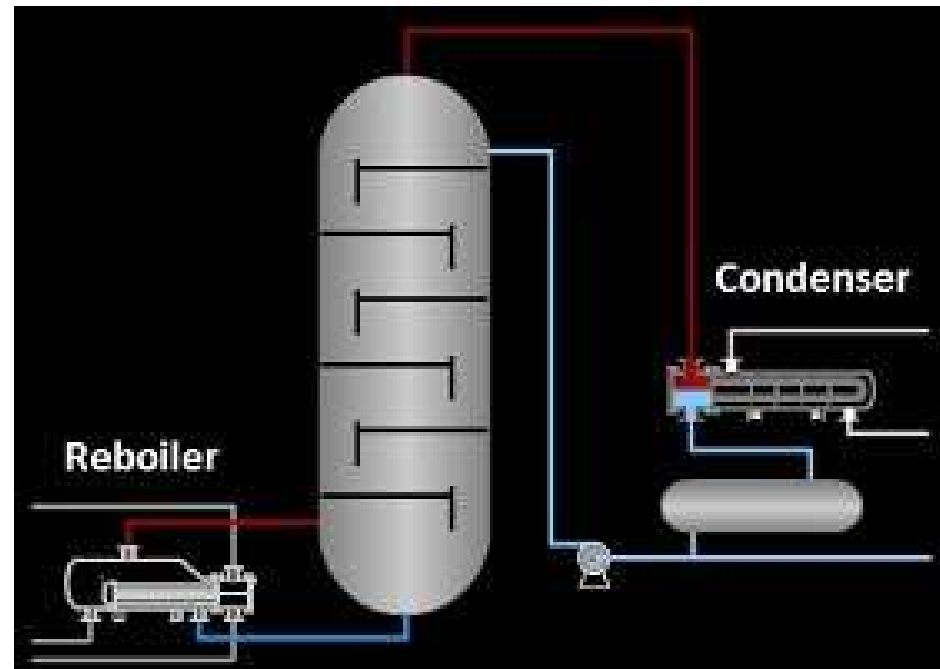




# Κλασματική Απόσταξη

- Η κλασματική απόσταξη σε βαθμίδες μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά απλών «αποστάξεων ισορροπίας», όπου τα προϊόντα μιας βαθμίδας είναι τροφοδοσίες των προσκειμένων, άνω και κάτω, βαθμίδων.
- Η αποστακτική στήλη συνοδεύεται από ένα **Αναβραστήρα** (στον πυθμένα) και ένα **συμπυκνωτήρα** (στην κορυφή)
- Η τροφοδότηση (F) είναι εισάγεται συνήθως κοντά στο μέσον της στήλης χωρίζοντας την σε τμήμα εμπλουτισμού και εξάντλησης
- Η πίεση λειτουργίας θεωρείται σταθερή σε όλο μήκος της στήλης

# Κλασματική Απόσταξη Αναβραστήρας- Συμπυκνωτής



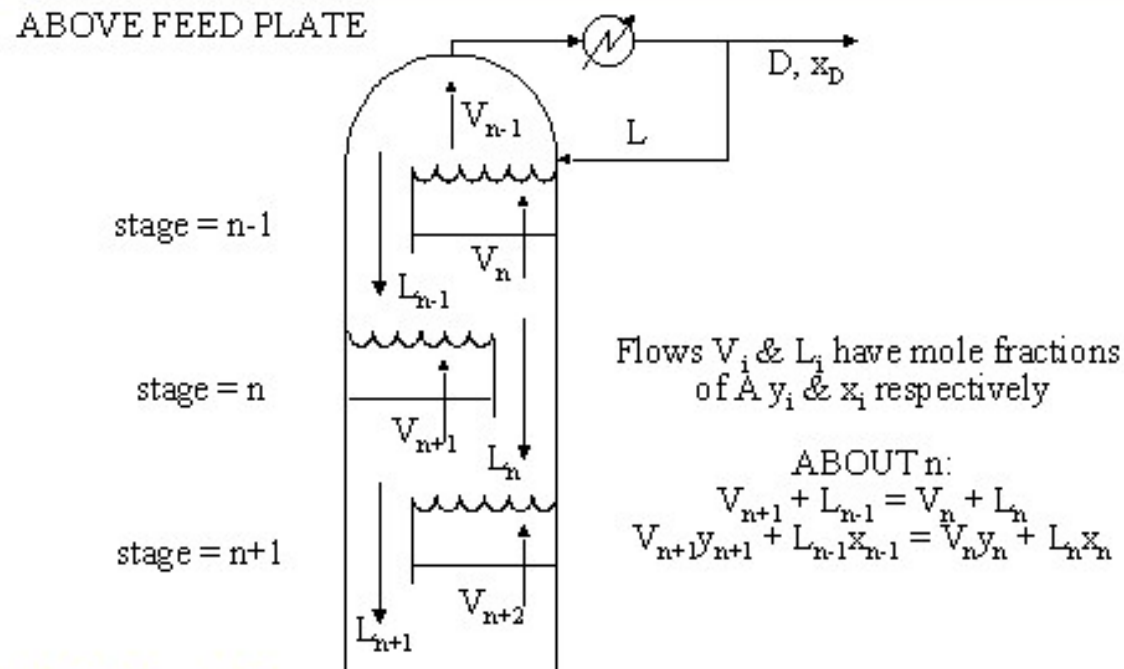
# Κλασματική Απόσταξη Αναβραστήρας- Συμπυκνωτής



# Κλασματική Απόσταξη

## Unit Operations 1 - Distillation

### Fractional distillation - McCabe/Thiele



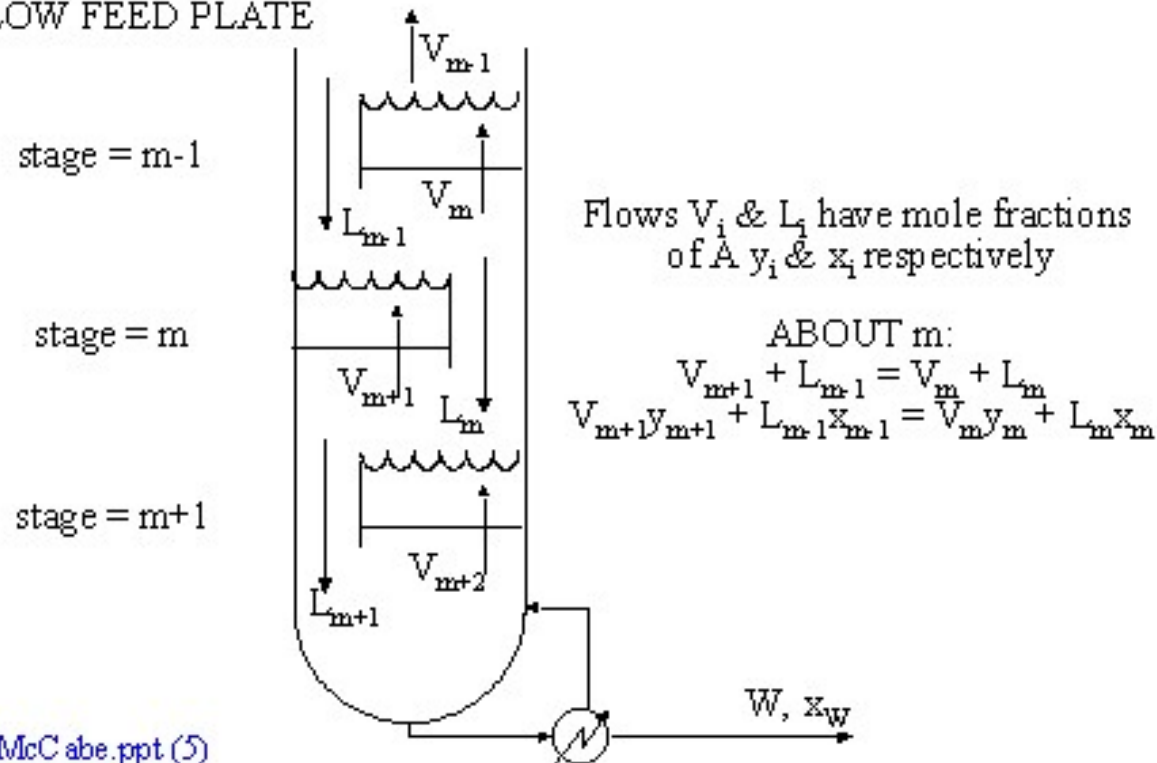
dist McCabe.ppt (3)

# Κλασματική Απόσταξη

## Unit Operations 1 - Distillation

### Fractional distillation - McCabe/Thiele

BELOW FEED PLATE

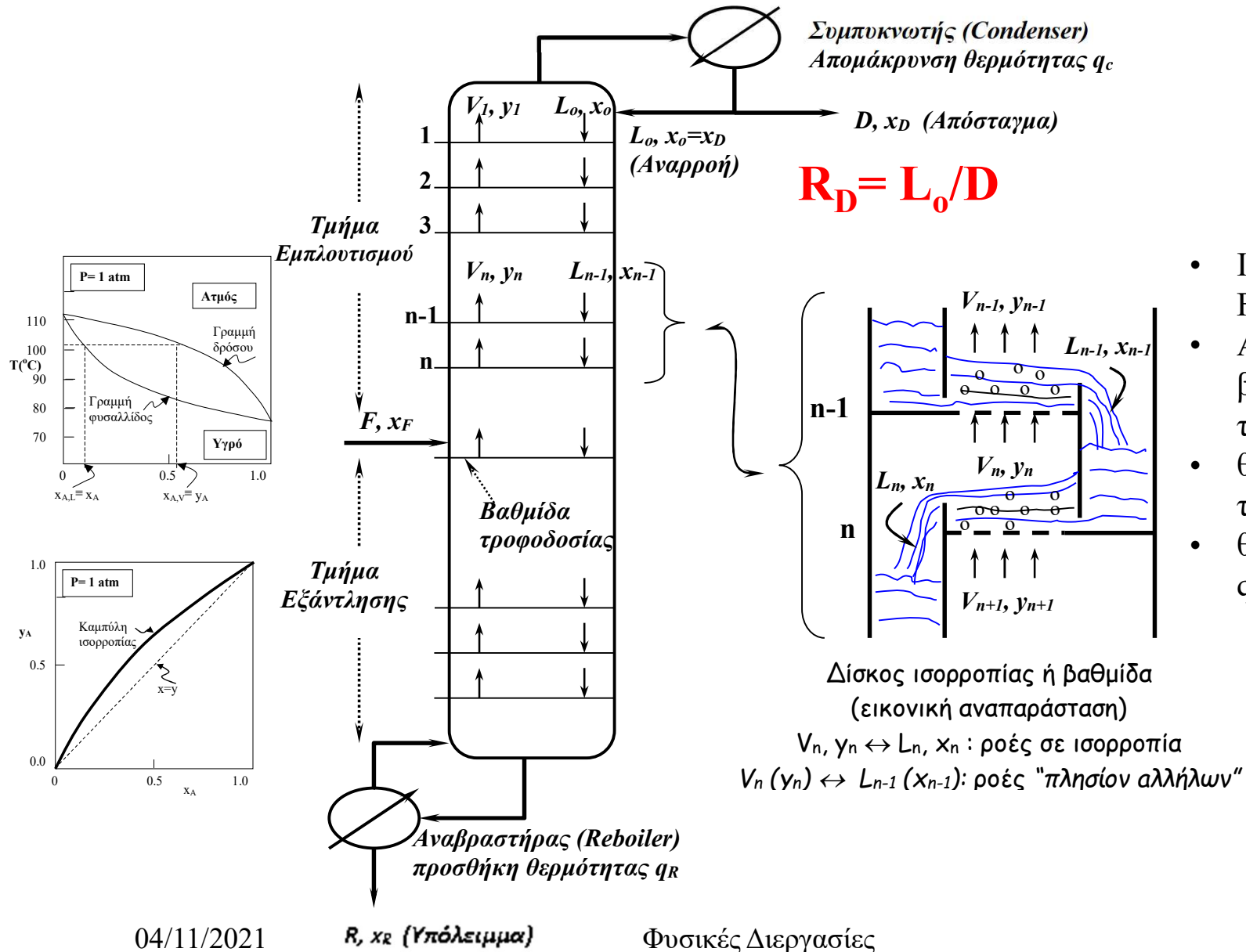


# Κλασματική Απόσταξη

- Βασικές απαιτήσεις για την επιλογή της πίεσης λειτουργίας:
  - (i) Να υφίσταται σημαντική διαφορά πτητικότητας μεταξύ των συστατικών.
  - (ii) Να είναι δυνατή η υγροποίηση των ατμών στον συμπυκνωτήρα με υπάρχων μη δαπανηρό ψυκτικό μέσο
  - (iii) Να μην έχουμε υπερβολικά μεγάλους όγκους ατμών που απαιτούν μεγάλη διάμετρο στήλης, άρα πάγιο κόστος
  - (iv) Οι θερμοκρασίες της στήλης να μην είναι επικίνδυνα υψηλές

*Αύξηση της πίεσης συνεπάγεται δυσχέρεστερος διαχωρισμός (δηλαδή περισσότερες βαθμίδες για να φθάσουμε σε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα)*

# Κλασματική Απόσταξη



- Ισοζύγια μάζας,  $F, D, R,$
- Αριθμός βαθμίδων τροφοδοσίας,  $N,$
- θέση τροφοδοσίας,
- θερμικά φορτία,  $q_R, q_C$

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

- Μεταβλητές
  - (1) Πίεση λειτουργίας της στήλης ( $P$ )
  - (2) Ρυθμός τροφοδότησης ( $F$ )
  - (3) Σύσταση τροφοδότησης ( $x_F$ )
  - (4) Ενθαλπία (θερμική κατάσταση) τροφοδότησης  $h_F$  ή  $q$
  - (5) Σύσταση αποστάγματος ( $x_D$ )
  - (6) Σύσταση υπολείμματος ( $x_R$ )
  - (7) Ενθαλπία αναρροής ( $h_L$ )
  - (8) Λόγος αναρροής ( $R_D=L/D$ )

Τα  $x_F$ ,  $x_D$  και  $x_R$  αναφέρονται στο πτητικότερο συστατικό)

Ζητούμενο: Ο υπολογισμός των απαιτούμενων θεωρητικών βαθμίδων για ένα δεδομένο διαχωρισμό.



# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

## Ολικό Ισοζύγιο μάζας (υλικών)

$$F = D + R$$

Παροχή Τροφοδοσίας =  
παροχή αποστάγματος +  
παροχή υπολείμματος

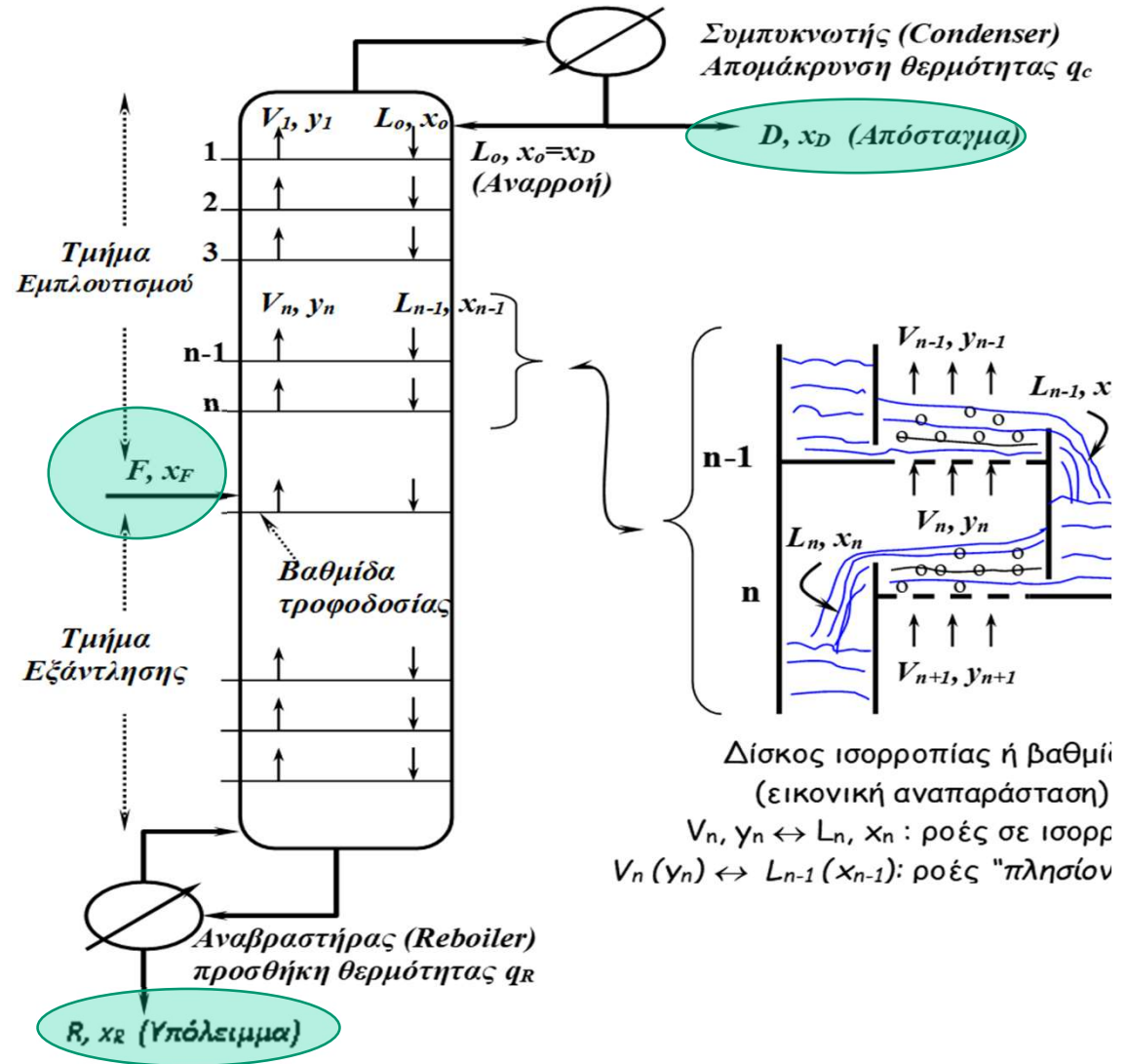
## Ισοζύγιο Πτητικού (Α)

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$R = F \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)}$$

$$D = F \frac{(x_F - x_R)}{(x_D - x_R)}$$

04/11/2021



Φυσικές Διεργασίες

## Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

### Ολικό Ισοζύγιο μάζας, (Υλικών)

$$F = D + R$$

Παροχή Τροφοδοσίας = παροχή αποστάγματος + παροχή υπολείμματος

### Ισοζύγιο Πτητικού (A)

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$F = D + R \rightarrow D = F - R$$

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$F x_F = (F - R) x_D + R x_R = F x_D - R x_D + R x_R = F x_D - R (x_D - x_R)$$

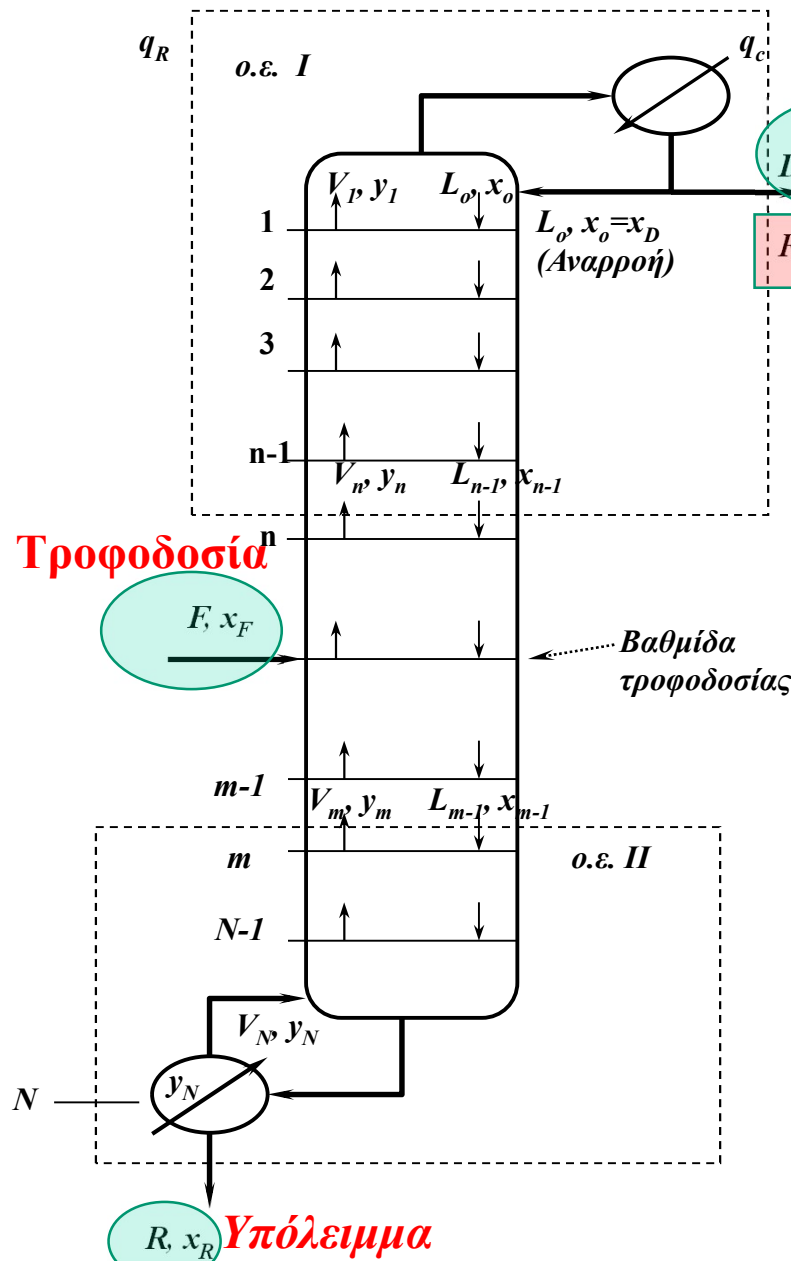
$$R (x_D - x_R) = F x_D - F x_F = F (x_D - x_F)$$

$$R = F \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)}, \quad R_A = x_R * R, \quad R_B = (1 - x_R) R$$

$$D = F - R = F - F \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)} = F \left[ 1 - \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)} \right] = F \left[ \frac{(x_D - x_R - x_D + x_F)}{(x_D - x_R)} \right] = F \frac{(x_F - x_R)}{(x_D - x_R)}$$

$$D_A = x_D * D, \quad D_B = (1 - x_D) D$$

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης



## Ισοζύγια μάζας στους Ο.Ε.

### • Γραμμή εμπλουτισμού:

$$y_n = \frac{L}{D+L} x_{n-1} + \frac{D}{D+L} x_D$$

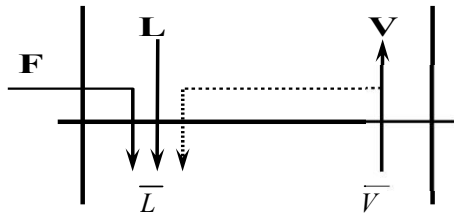
$$y_n = \frac{R_D}{R_D+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D+1}$$

### • Γραμμή εξάντλησης:

$$y_m = \frac{\bar{L}}{L-R} x_{m-1} - \frac{R}{L-R} x_R$$

### • Γραμμή τροφοδοσίας ή q-line:

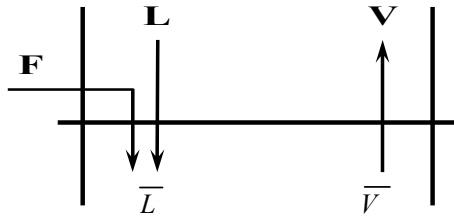
$$y = -\frac{q}{1-q} x + \frac{x_F}{1-q}$$



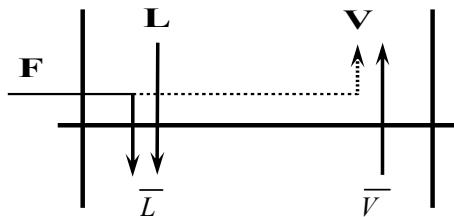
$$q = \frac{\bar{L} - L}{F}$$

(i) Τροφοδοσία υπόψυκτου υγρού ( $T_F < T_{\sigma.\beta.}$ ): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται στο τμήμα εξάντλησης αυξάνοντας το  $\bar{L}$  ενώ συγχρόνως υγροποιεί και συμπαρασύρει κάποιο ποσοστό των ατμών  $V$ :

$$q > 1 \rightarrow q = 1 + C_{pL} (T_{\sigma.\beta.} - T_F) / \lambda$$

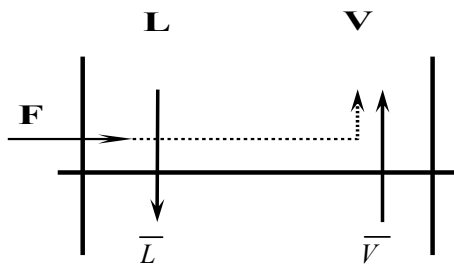


(ii) Τροφοδοσία κορεσμένου υγρού ( $T_F = T_{\sigma.\beta.}$ ): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται στο τμήμα εξάντλησης αυξάνοντας το  $\bar{L}$ , χωρίς όμως να επηρεάζει την ροή των ατμών  $V$ :  $q = 1 \rightarrow \bar{L} - L = F$

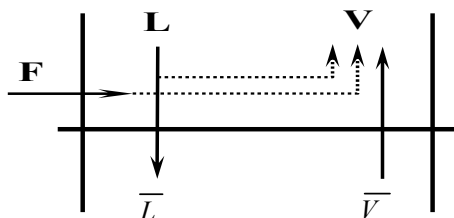


(iii) Τροφοδοσία ατμού-υγρού σε ισορροπία (μερικώς εξατμισμένο υγρό): μέρος της τροφοδοσίας αυξάνει την ποσότητα υγρού στο τμήμα εξάντλησης, ενώ το υπόλοιπο αυξάνει τον ατμό  $V$  του τμήματος εμπλουτισμού:

$$0 < q < 1 \rightarrow \{\bar{L} = L + qF \quad \text{και} \quad V = \bar{V} + (1 - q)F\}$$



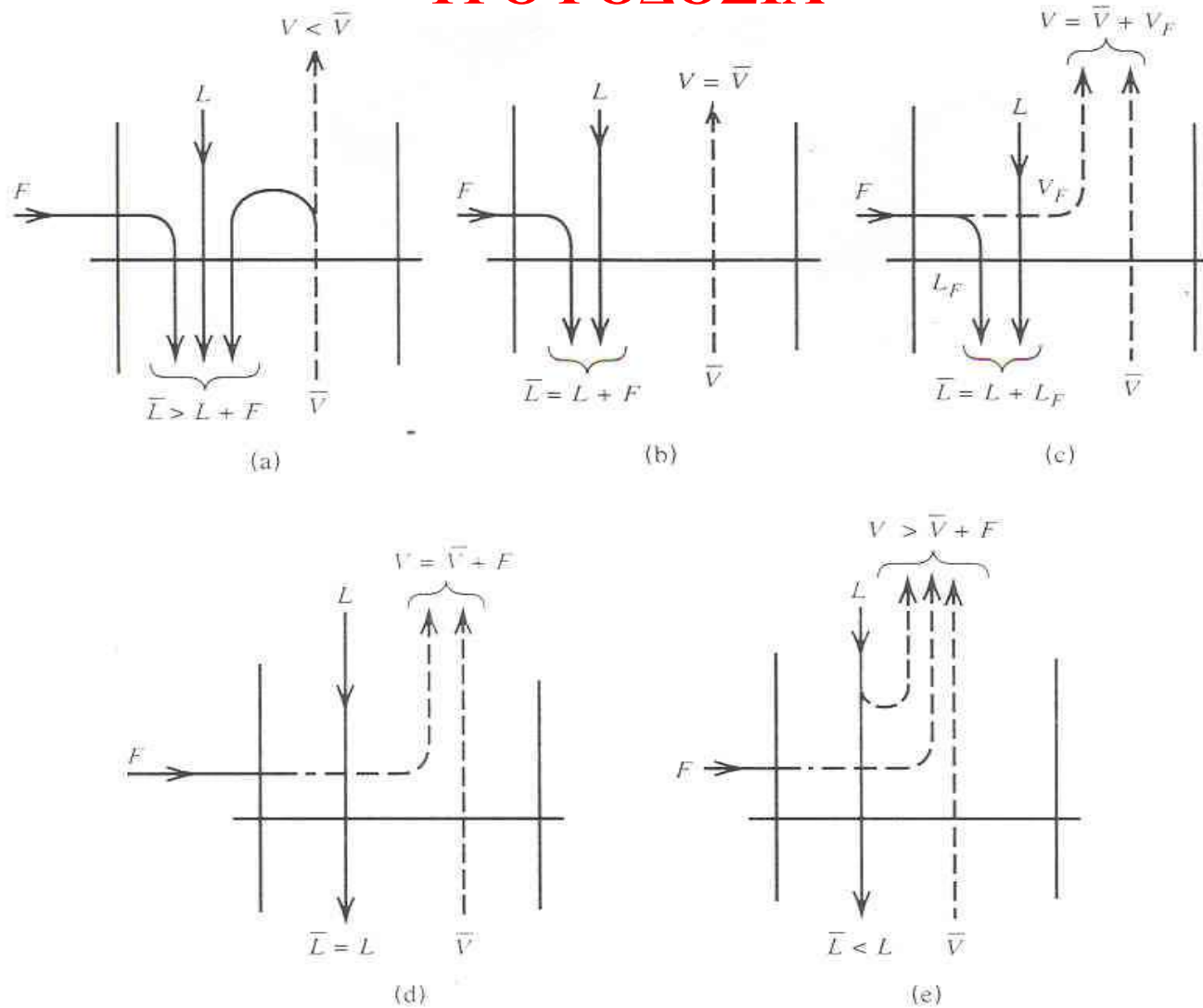
(iv) Τροφοδοσία κορεσμένου ατμού (ατμού στο σημείο δρόσου,  $T_F = T_{\sigma.\delta\rho.}$ ): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται ως ατμός στο τμήμα εμπλουτισμού, αφήνοντας ανεπηρέαστη την ροή υγρού  $L$ :  $q = 0 \rightarrow (V = \bar{V} + F)$



(v) Τροφοδοσία υπέρθερμου ατμού ( $T_F > T_{\sigma.\delta\rho.}$ ): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται στο τμήμα εμπλουτισμού, ενώ συγχρόνως εξατμίζει και παρασύρει κάποιο ποσοστό του υγρού  $L$ :

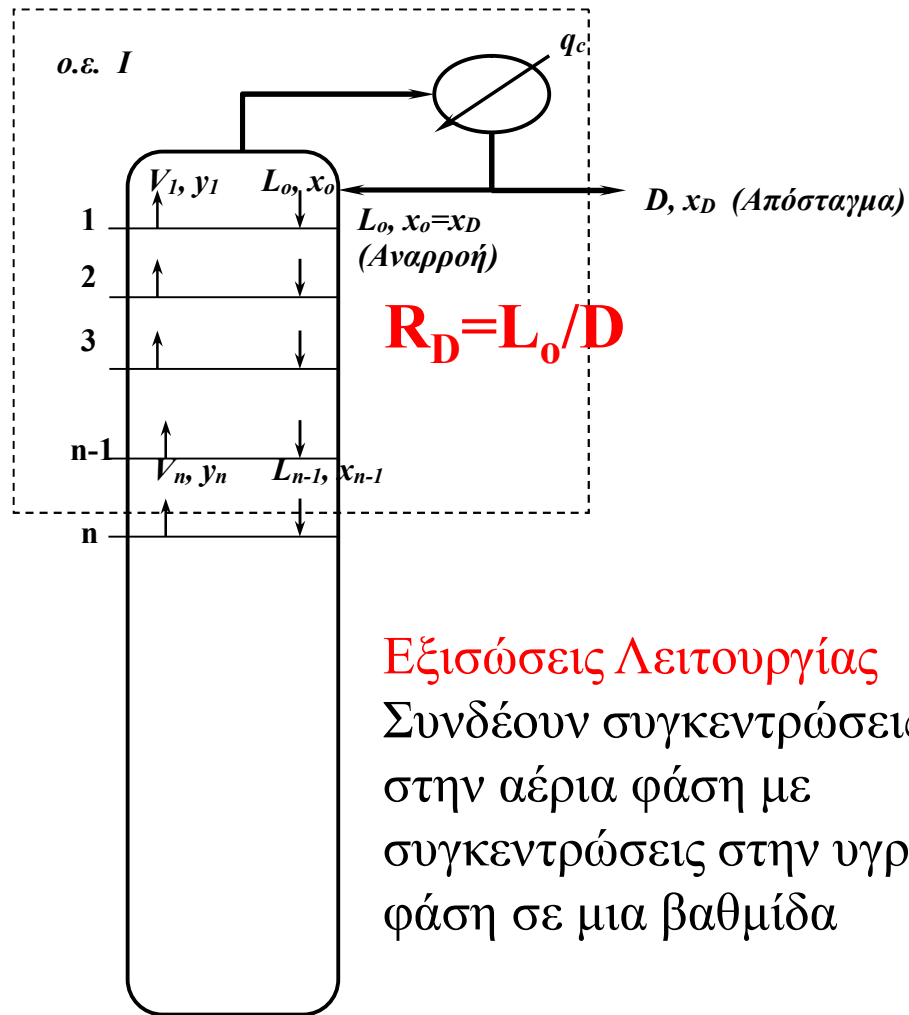
$$q < 0 \rightarrow q = C_{pV} (T_{\sigma.\delta\rho.} - T_F) / \lambda$$

# ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ



**Figure 7.7** Possible feed conditions: (a) subcooled liquid feed; (b) bubble-point liquid feed; (c) partially vaporized feed; (d) dew-point vapor feed; (e) superheated vapor feed. [Adapted from W.L. McCabe, J.C. Smith, and P. Harriott, *Unit Operations of Chemical Engineering*, 5th ed., McGraw-Hill, New York (1993).]

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού



Ολικό Ισοζύγιο

$$V_n = L_{n-1} + D$$

Ισοζύγιο Πτητικού

$$V_n y_n = L_{n-1} x_{n-1} + D x_D$$

Λύνοντας ως προς  $y_n$

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{V_n} x_{n-1} + \frac{D}{V_n} x_D$$

ή

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{L_{n-1} + D} x_{n-1} + \frac{D}{L_{n-1} + D} x_D$$

$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

## Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης - Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού

Ολικό Ισοζύγιο:  $V_n = L_{n-1} + D$

Ισοζύγιο Πτητικού:  $V_n y_n = L_{n-1} x_{n-1} + D x_D$

Λύνοντας ως προς  $y_n$

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{V_n} x_{n-1} + \frac{D}{V_n} x_D$$

Προσέξτε ότι η γραμμή λειτουργίας είναι μια ευθεία γραμμή  $y=ax+b$

με κλίση,  $\frac{L_{n-1}}{V_n}$ , δηλ. το λόγο ροής του

υγρού προς την ροή των ατμών

Η γραμμή λειτουργίας μπορεί να γραφεί επίσης ως

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{L_{n-1} + D} x_{n-1} + \frac{D}{L_{n-1} + D} x_D$$

Διαιρώ όλους τους όρους με το D

$$y_n = \frac{L_{n-1}/D}{L_{n-1}/D + D/D} x_{n-1} + \frac{D/D}{L_{n-1}/D + D/D} x_D$$

Ορισμός λόγου αναρροής,  $R_D = L/D$

$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{1}{R_D + 1} x_D$$

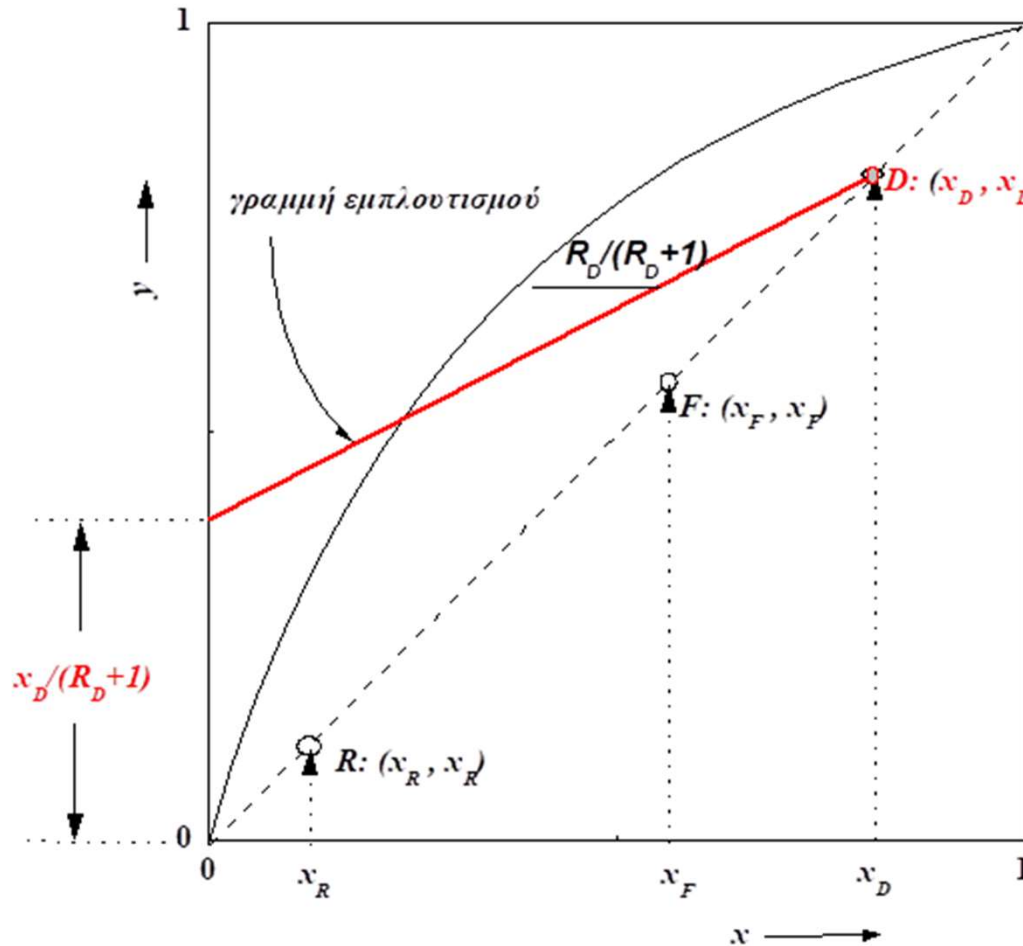
Κλίση της γραμμής  $\frac{R_D}{R_D + 1}$

Αποτέμνουσα (για  $x=0$ ,  $y_n = \frac{x_D}{R_D + 1}$ )

Για  $x=x_D$

$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_D + \frac{1}{R_D + 1} x_D = \frac{(R_D + 1)}{(R_D + 1)} x_D = x_D$$

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης – Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού



$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

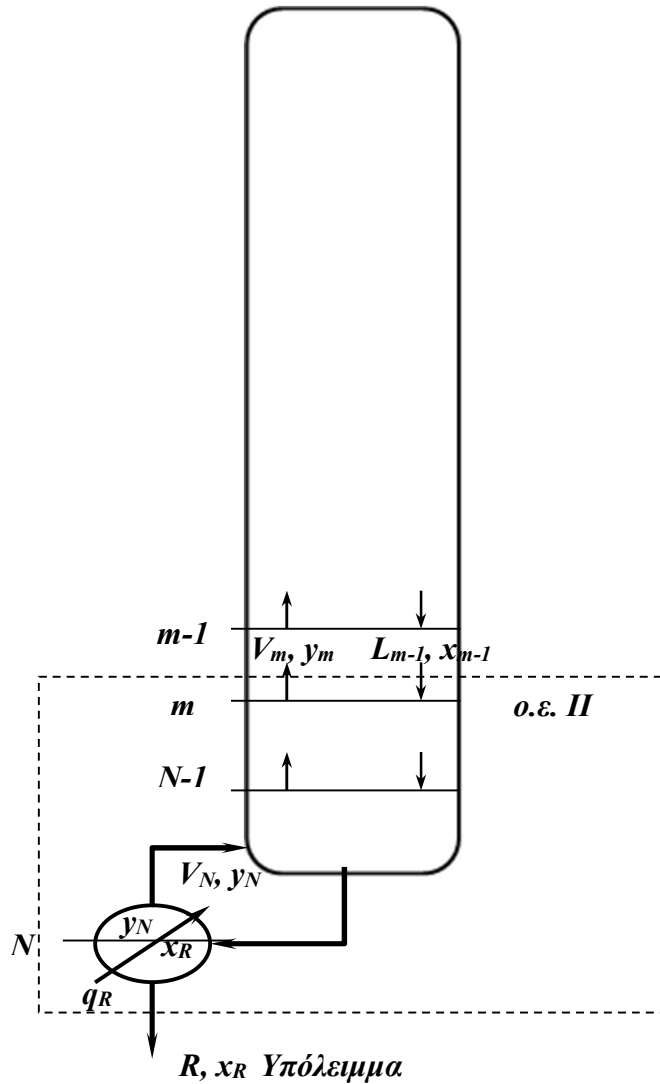
(α) διέρχεται από το σημείο  $(x_D, x_D)$  της διαγωνίου

(β) έχει κλίση:  $R_D/(R_D-1)$



# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

## Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης



Ολικό Ισοζύγιο

$$V_m = L_{m-1} - R$$

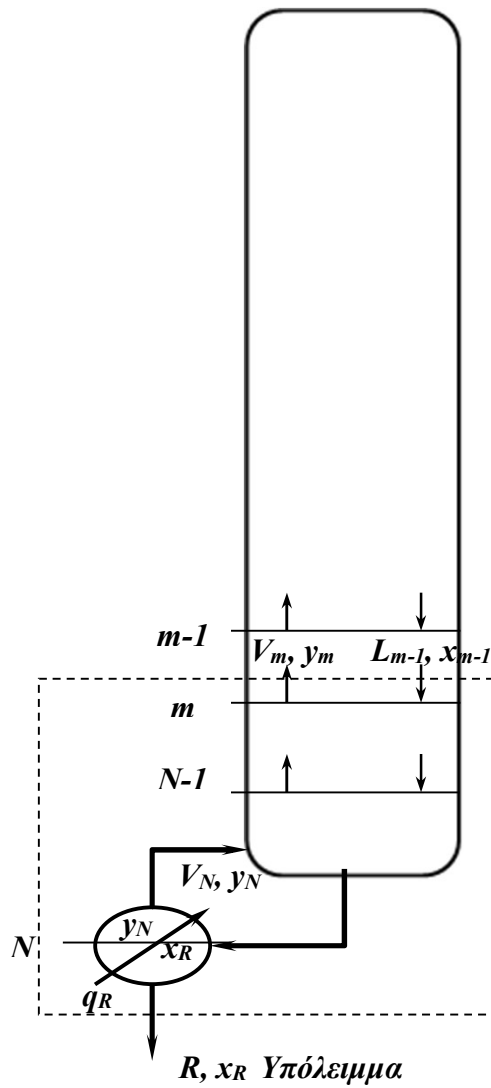
Ισοζύγιο Πτητικού

$$V_m y_m = L_{m-1} x_{m-1} - R x_R$$

Λύνοντας ως προς  $y_m$

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_{m-1} - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$$

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης- Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης



Ολικό Ισοζύγιο:  $V_m = L_{m-1} - R$

Ισοζύγιο Πτητικού:  $V_m y_m = L_{m-1} x_{m-1} - R x_R$

Λύνοντας ως προς  $y_m$ ,  $y_m = \frac{L_{m-1}}{V_m} x_{m-1} - \frac{R}{V_m} x_R$

Προσέξτε ότι η γραμμή λειτουργίας, είναι μια ευθεία γραμμή  $y=ax+b$  με κλίση,  $\frac{L_{m-1}}{V_m}$ , δηλ. το λόγο ροής του υγρού προς την ροή των ατμών

Η γραμμή λειτουργίας μπορεί να γραφεί επίσης ως

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_{m-1} - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$$

ο.ε. II Κλίση της γραμμής  $\frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R}$

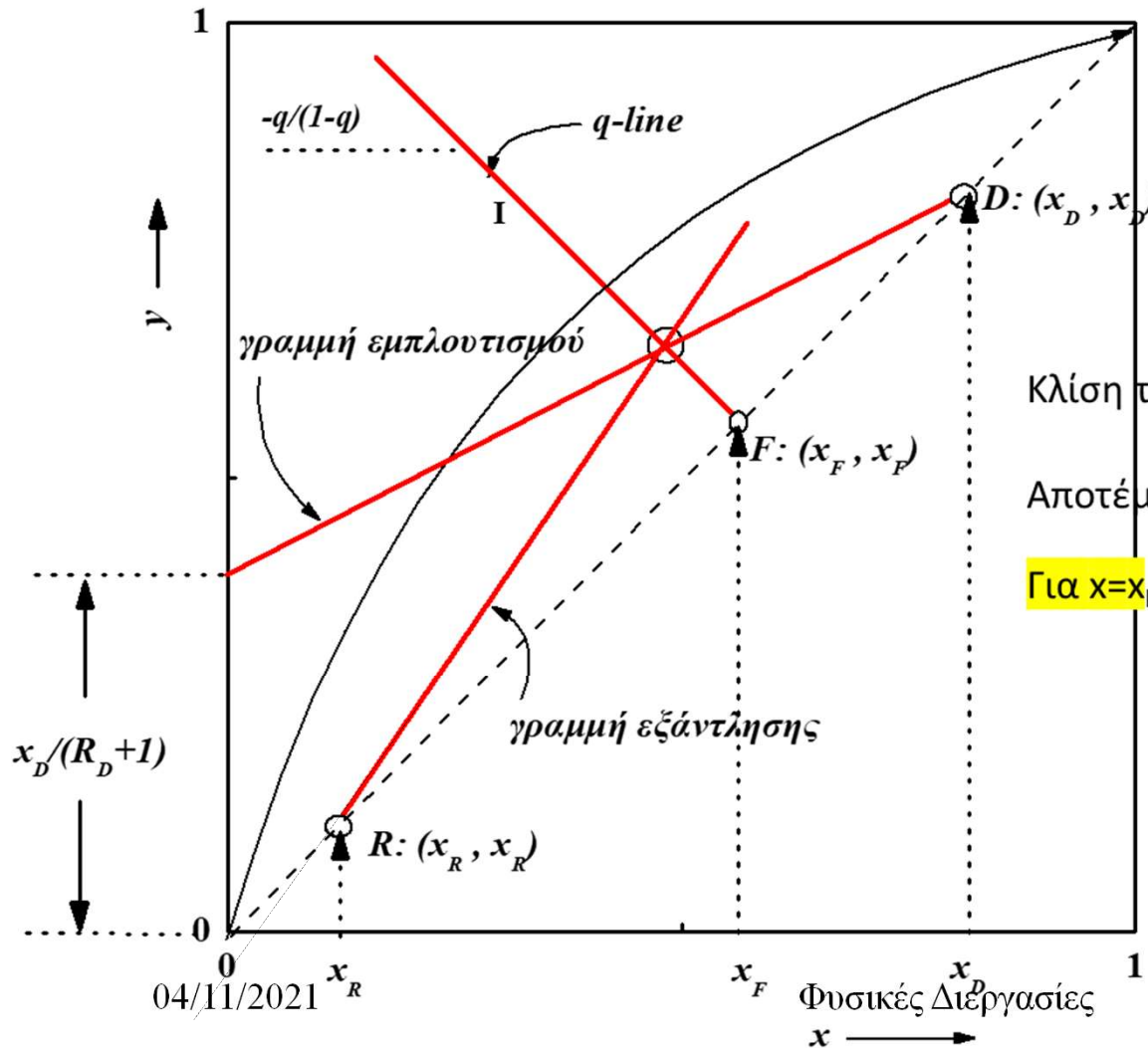
Αποτέμνουσα (για  $x=0$ ,  $y_m = -\frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$ )

Για  $x=x_R$

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_R - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R = \frac{(L_{m-1} - R)}{(L_{m-1} - R)} x_R = x_R$$

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης- Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_{m-1} - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$$



Κλίση της γραμμής  $\frac{L_{m-1}}{L_{m-1}-R}$

Αποτέλεσμα (για  $x=0$ ,  $y_m = -\frac{R}{L_{m-1}-R} x_R$ )

Για  $x=x_R$   $y_m = x_R$

## Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης Ανάλυση Τμήματος Τροφοδοσίας

$q$ , που ορίζεται ως "το κλάσμα της τροφοδοσίας που είναι κεκορεσμένο υγρό".

$$q = \frac{\bar{L} - L}{F} \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad \bar{L} = L + qF \quad \& \quad V = \bar{V} + (1 - q)F$$

$$(2.75) \xrightarrow{\text{για } x_{n-1}=x, y_n=y} Vy = Lx + Dx_D$$

$$(2.78) \xrightarrow{\text{για } x_{m-1}=x, y_m=y} \bar{V}y = \bar{L}x - Rx_R$$

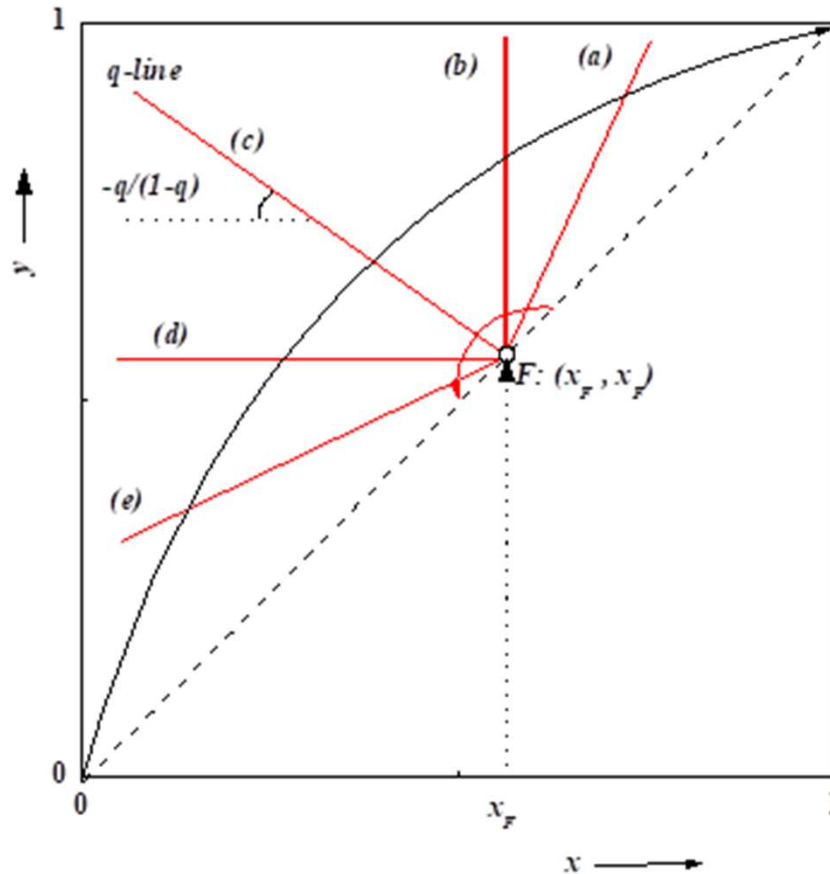
(αφαιρώντας κατά μέλη)  $\Rightarrow$

$$y(V - \bar{V}) = (L - \bar{L}) + (Dx_D + Rx_R) \xrightarrow{Dx_D + Rx_R = Fx_F} \frac{V - \bar{V}}{F} y = \frac{L - \bar{L}}{F} x + x_F \xrightarrow{(2.80)}$$

$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

- (α) διέρχεται από το σημείο  $(x_F, x_F)$  της διαγωνίου
- (β) έχει κλίση:  $-q/(1-q)$

# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης Ανάλυση Τμήματος Τροφοδοσίας



•Γραμμή τροφοδοσίας ή *q*-line:

$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

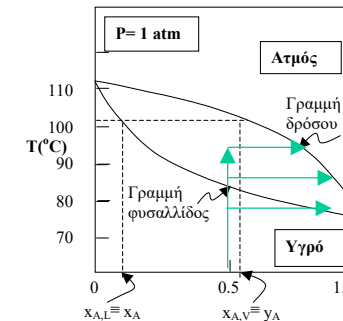
(a):  $q > 1$ , υπόψυκτο υγρό

(b):  $q = 1$ , κορεσμένο υγρό

(c):  $0 < q < 1$ , υγρό+ατμός

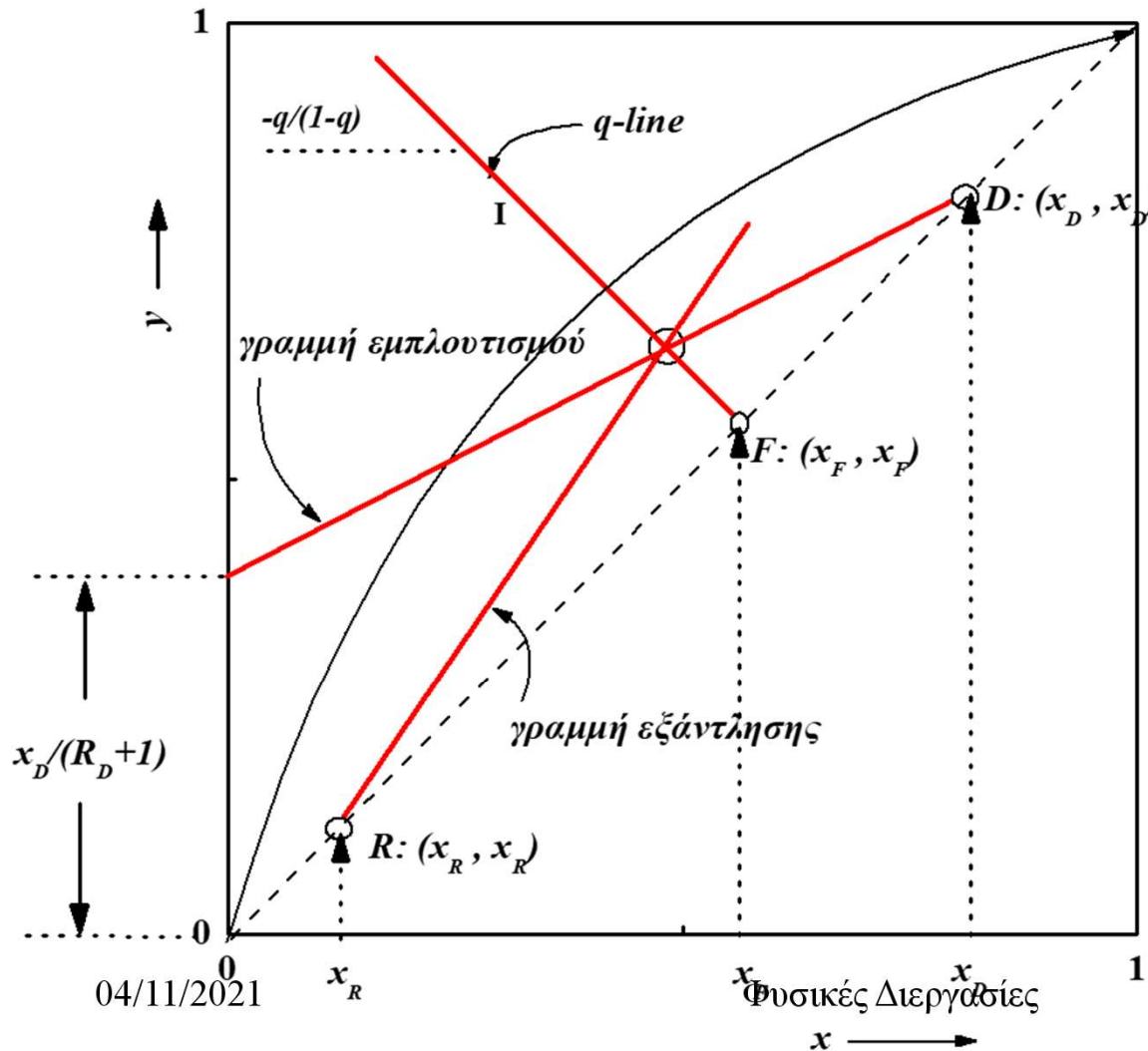
(d):  $q = 0$ , κορεσμένος ατμός

(e):  $q < 0$ , υπέρθερμος ατμός



# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

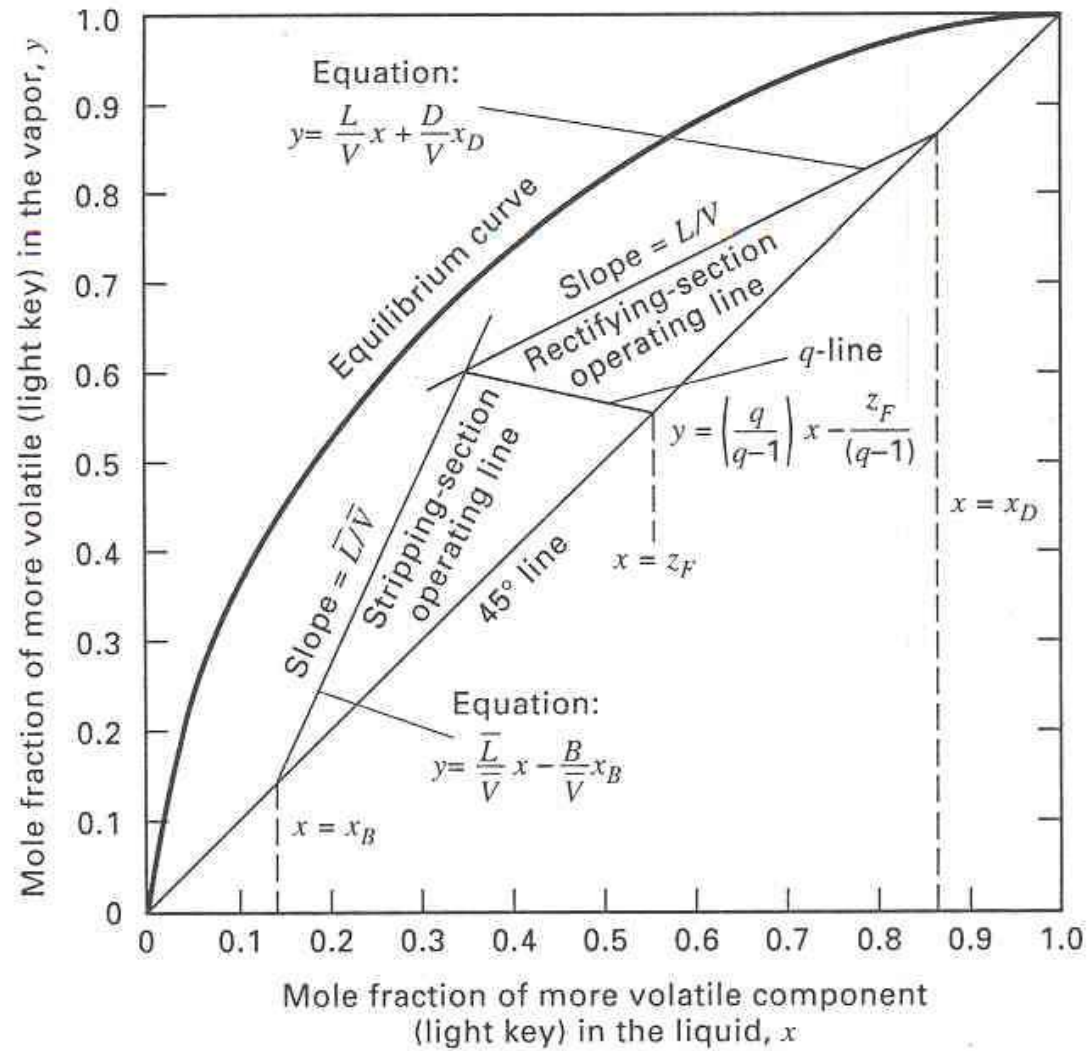
## Ανάλυση Τμήματος Τροφοδοσίας



$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

- (α) διέρχεται από το σημείο  $(x_F, x_F)$  της διαγωνίου  
 (β) έχει κλίση:  $-q/(1-q)$

## Γραμμές λειτουργίας

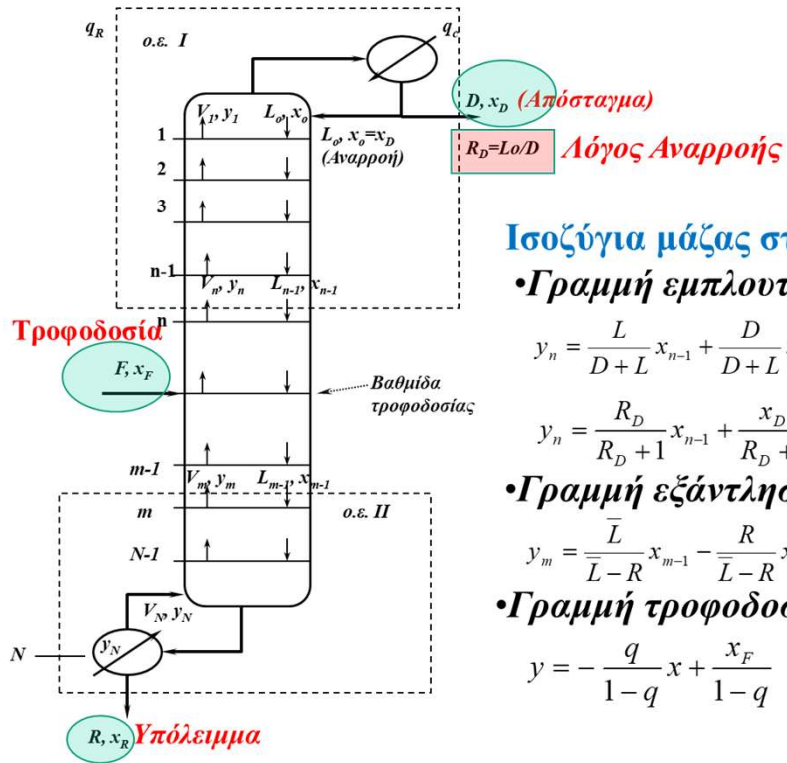


**Figure 7.4** Construction lines for McCabe–Thiele method.



# Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης McCabe Thiele

## Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης



### Ισοζύγια μάζας στους Ο.Ε.

#### • Γραμμή εμπλουτισμού:

$$y_n = \frac{L}{D+L} x_{n-1} + \frac{D}{D+L} x_D$$

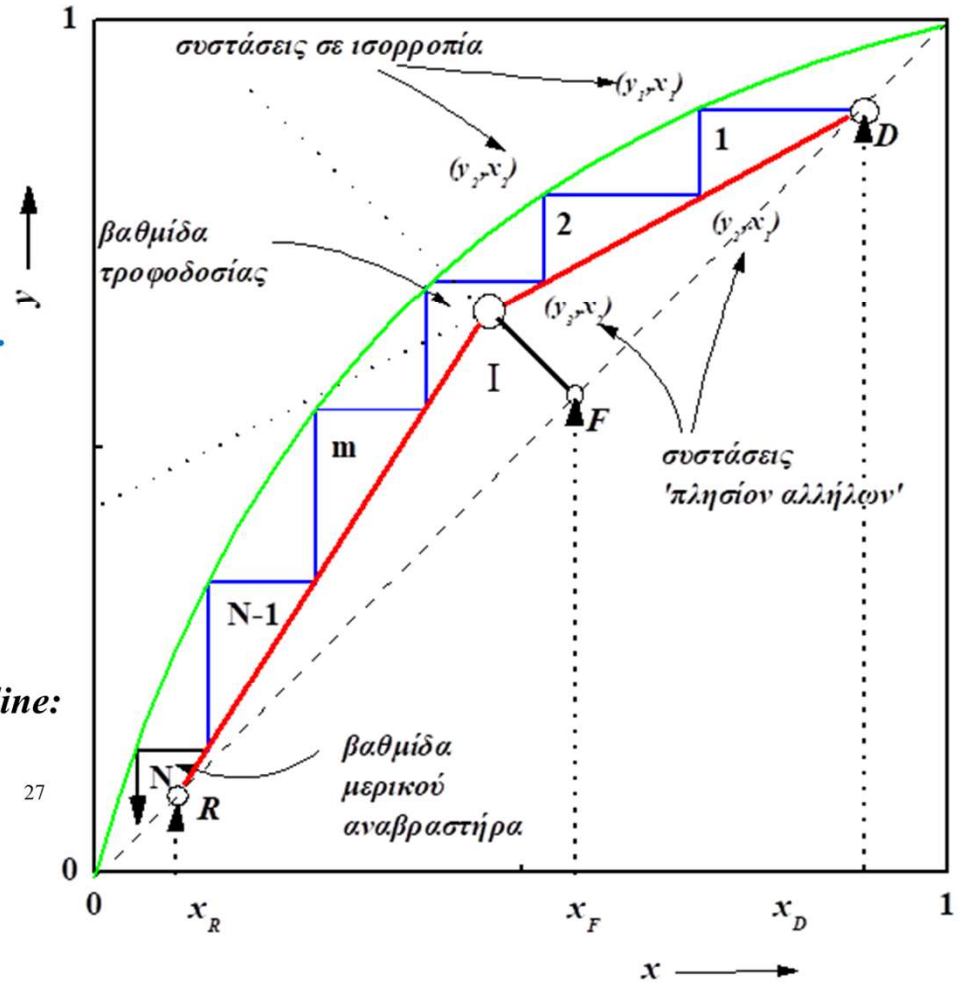
$$y_n = \frac{R_D}{R_D+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D+1}$$

#### • Γραμμή εξάντλησης:

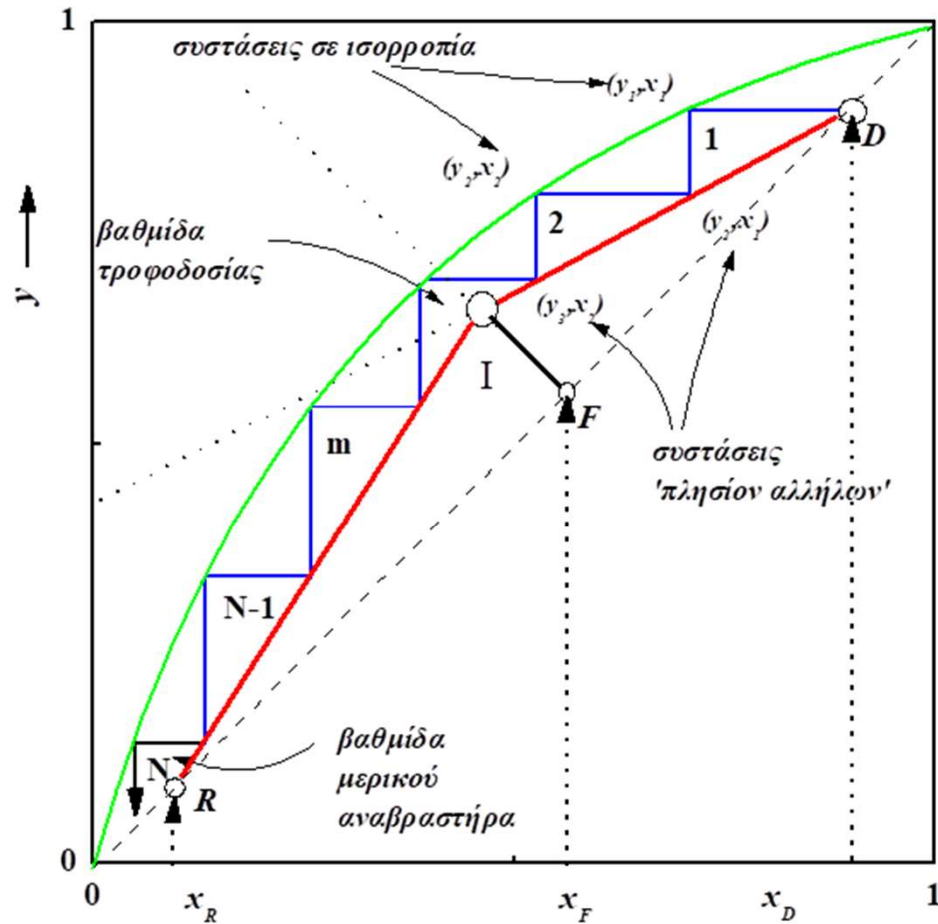
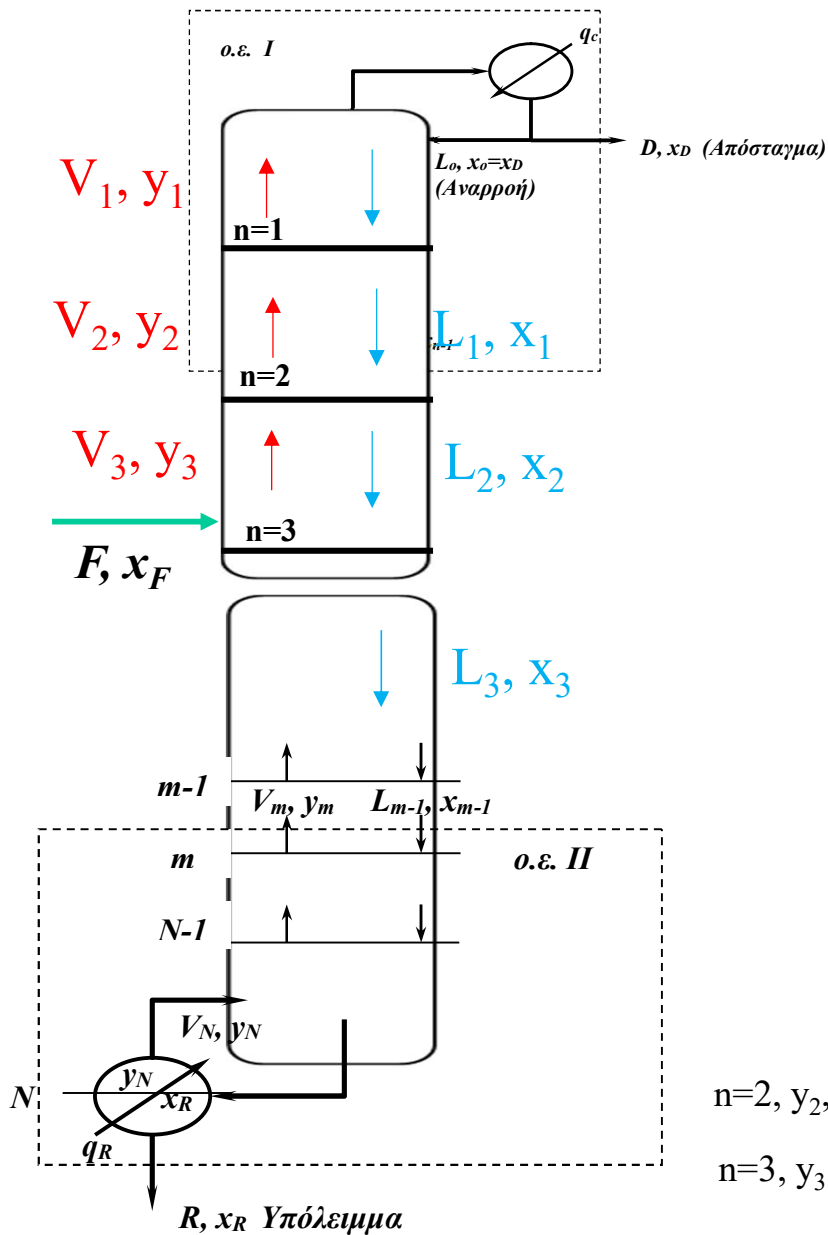
$$y_m = \frac{\bar{L}}{\bar{L}-R} x_{m-1} - \frac{R}{\bar{L}-R} x_R$$

#### • Γραμμή τροφοδοσίας ή q-line:

$$y = -\frac{q}{1-q} x + \frac{x_F}{1-q}$$







$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

$$y_n = f(x_n)$$

$$n=1, y_1, x_{n-1} = x_0 = x_D, y_1 = x_D$$

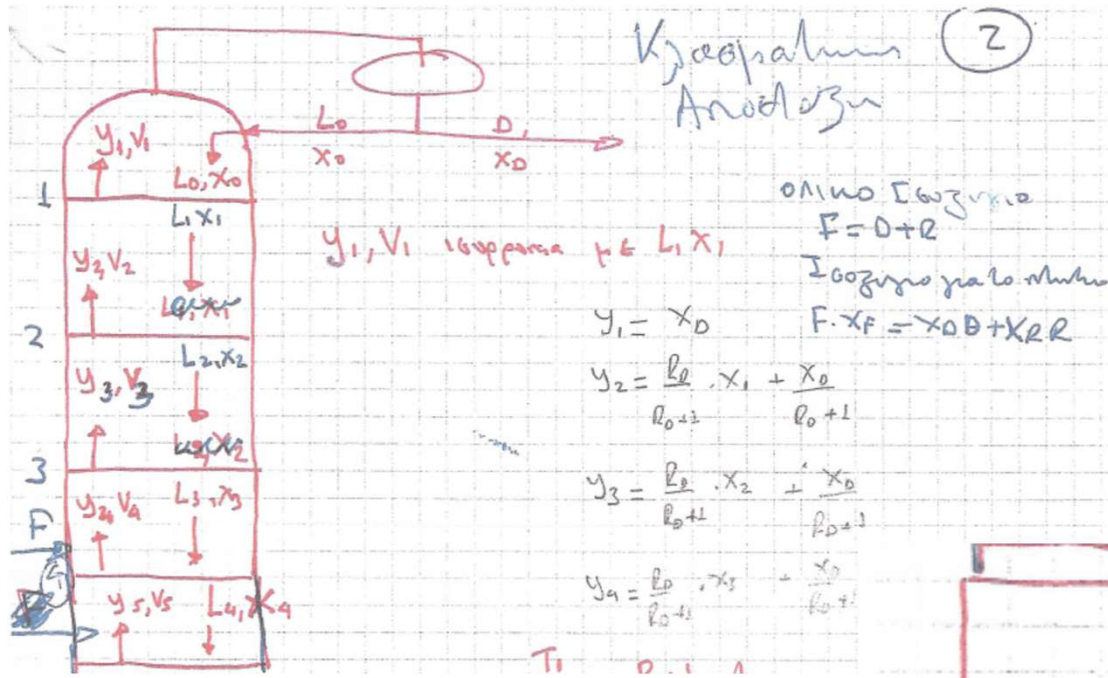
$$y_1 = f(x_1)$$

$$n=2, y_2, x_{n-1} = x_1, y_2 = \left(\frac{R_D}{R_D + 1}\right) x_1 + \left[\frac{x_D}{R_D + 1}\right]$$

$$y_2 = f(x_2)$$

$$n=3, y_3, x_{n-1} = x_2, y_3 = \left(\frac{R_D}{R_D + 1}\right) x_2 + \left[\frac{x_D}{R_D + 1}\right]$$

$$y_3 = f(x_3)$$



- Βρίφαλα
- (1) Καλαμυρένι Διαφοροποίησης  $y$  vs  $x$
  - (2) Τονοδωτική  $x_F, x_0, x_R$
  - (3) Ζυγαριζομένη λιν γραμμή φη ηζωζυγίστη
- $$y_n = \frac{R_2}{R_2+1} \cdot x_{n-1} + \frac{x_0}{R_2+1}$$

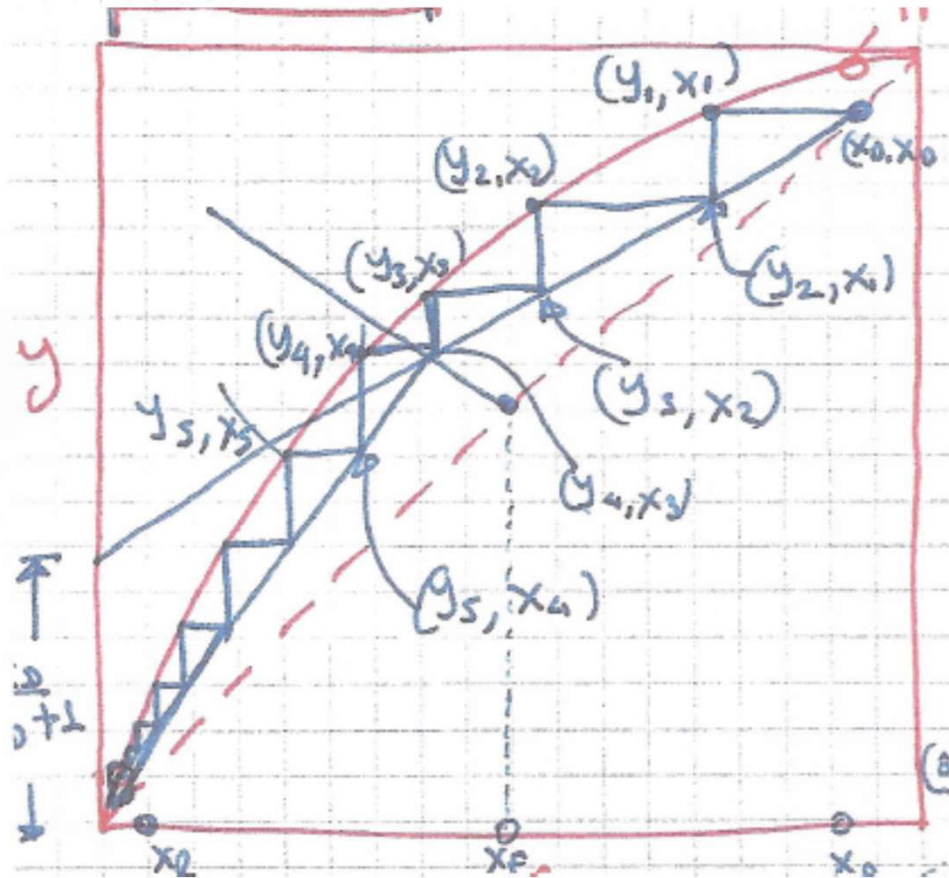
4) Ζυγαριζομένη λιν γραμμή ηζωζυγίστη

$$y = -\frac{q}{1-q} X + \frac{x_F}{1-q}, \text{ ηζωζυγίστη ανα το οριζόντιο } x_F, x_F, -\frac{q}{1-q} \text{ ηζωζυγίστη}$$

- $q = \text{ηζωζυγίστη ηζωζυγίστη ανα το οριζόντιο } x_F, x_F, -\frac{q}{1-q} \text{ ηζωζυγίστη}$
- (α)  $q > 1$  ηζωζυγίστη ηζωζυγίστη
  - (β)  $q = 1$  ηζωζυγίστη ηζωζυγίστη
  - (γ)  $0 < q < 1$  ηζωζυγίστη ηζωζυγίστη
  - (δ)  $q = 0$  ηζωζυγίστη ηζωζυγίστη
  - (ε)  $q < 0$  ηζωζυγίστη ηζωζυγίστη

5) Ζυγαριζομένη λιν γραμμή φη ηζωζυγίστη

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{L_{n-1} + D} \cdot x_{n-1} + \frac{D}{L_{n-1} + D} \cdot x_D$$



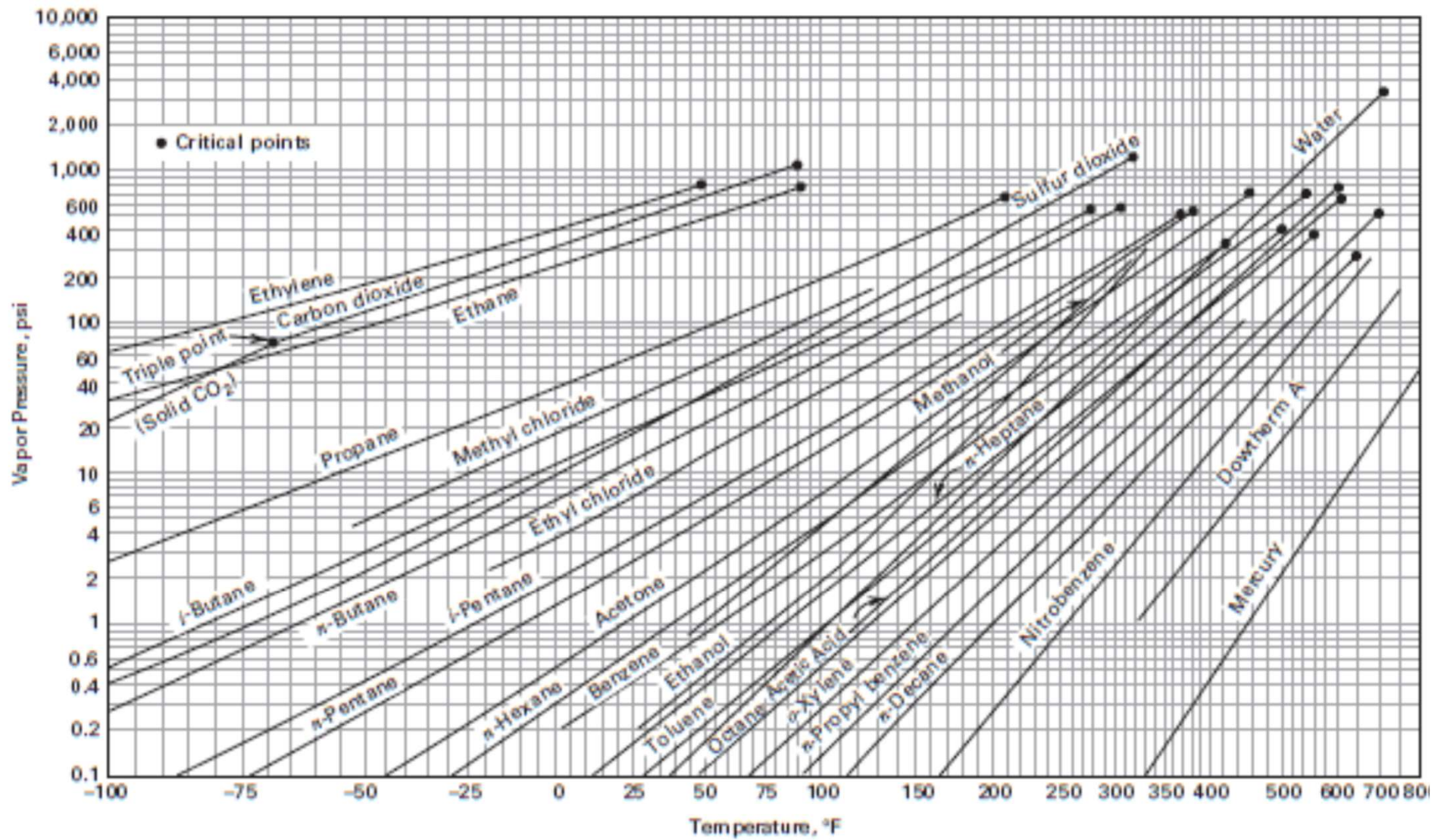


Figure 2.1 Vapor pressure of some common industrial chemicals.