

Φυσικές Διεργασίες Ι



- ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΉ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

ΧΡΙΣΤΑΚΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

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.

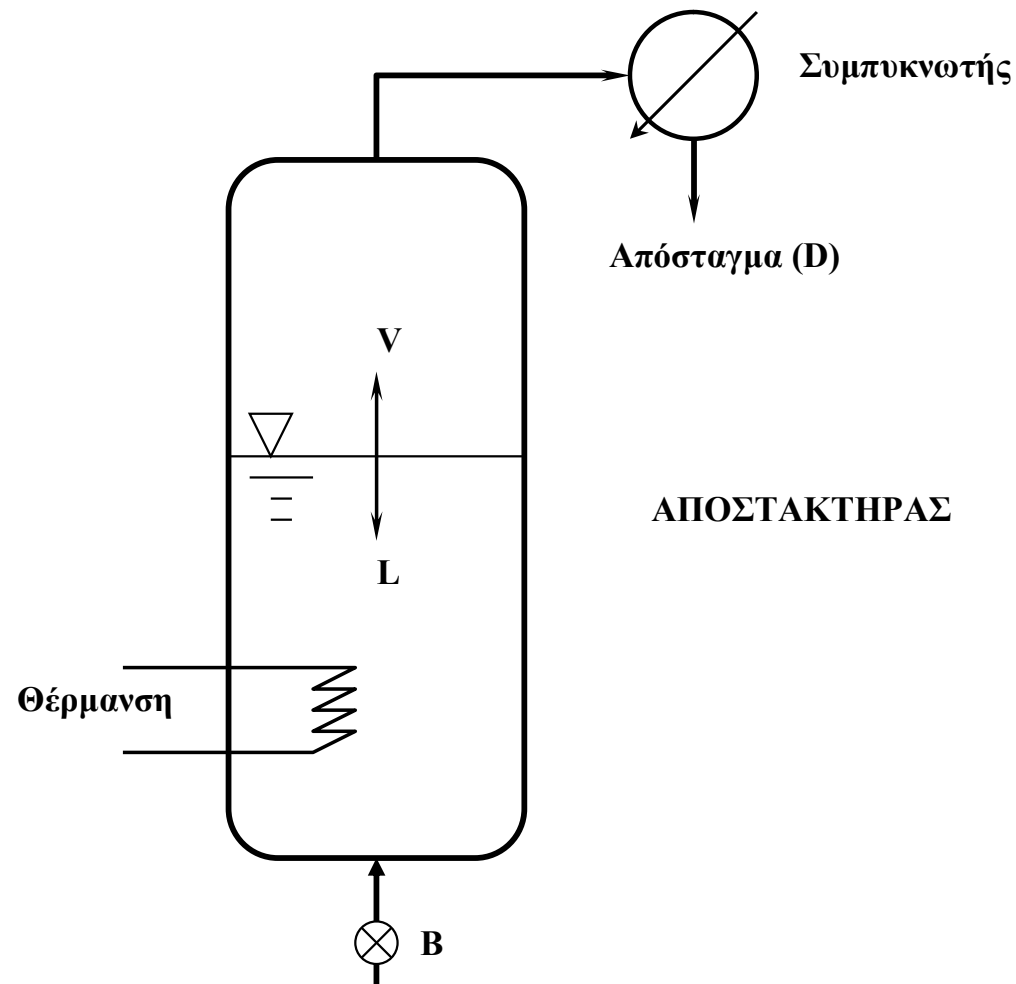
Απλές Αποστάξεις –

(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)

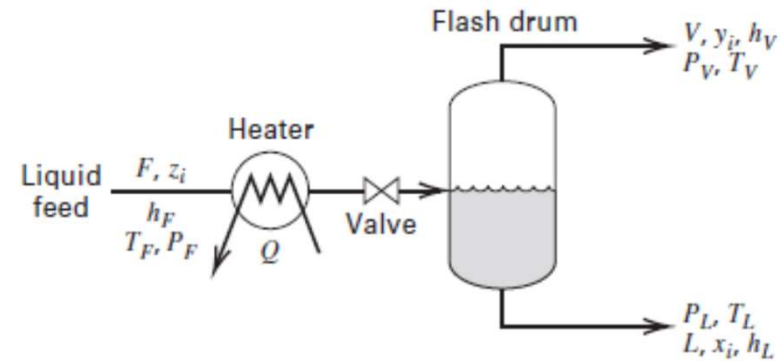
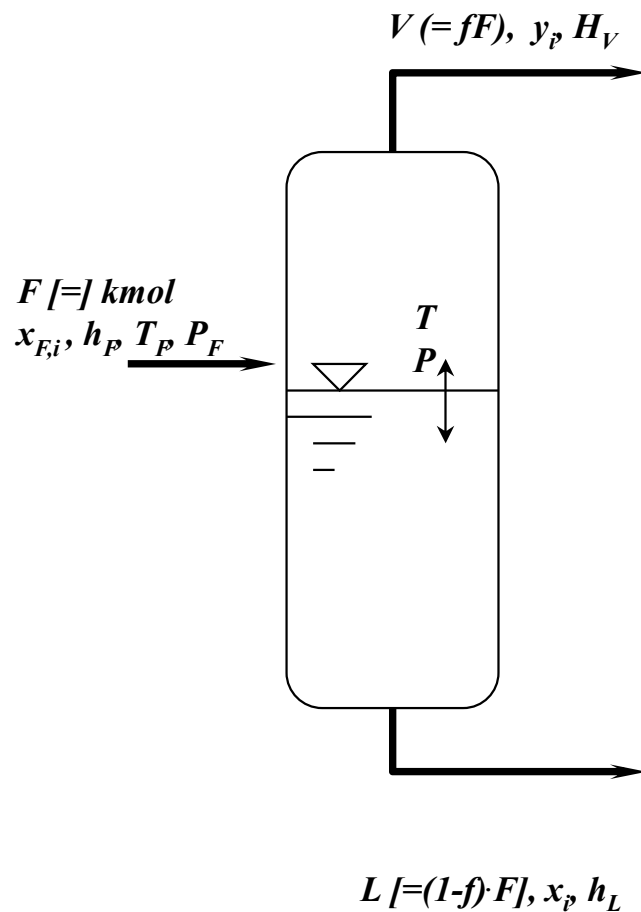


Figure 4.8 Continuous flash vaporization

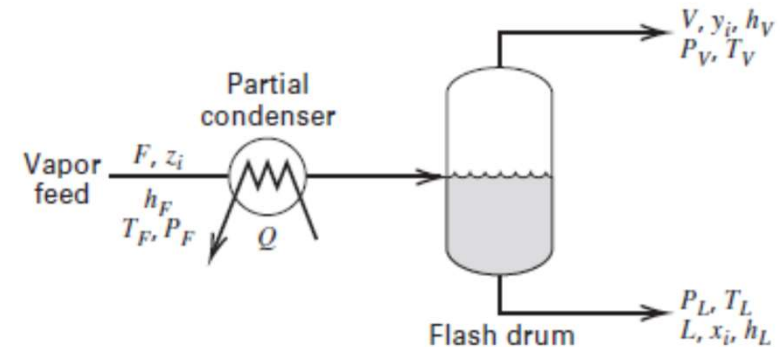


Figure 4.9 Continuous partial condensation.

Διάταξη απόσταξης ισορροπίας (equilibrium or Flash Distillation)

Κλασματική Απόσταξη

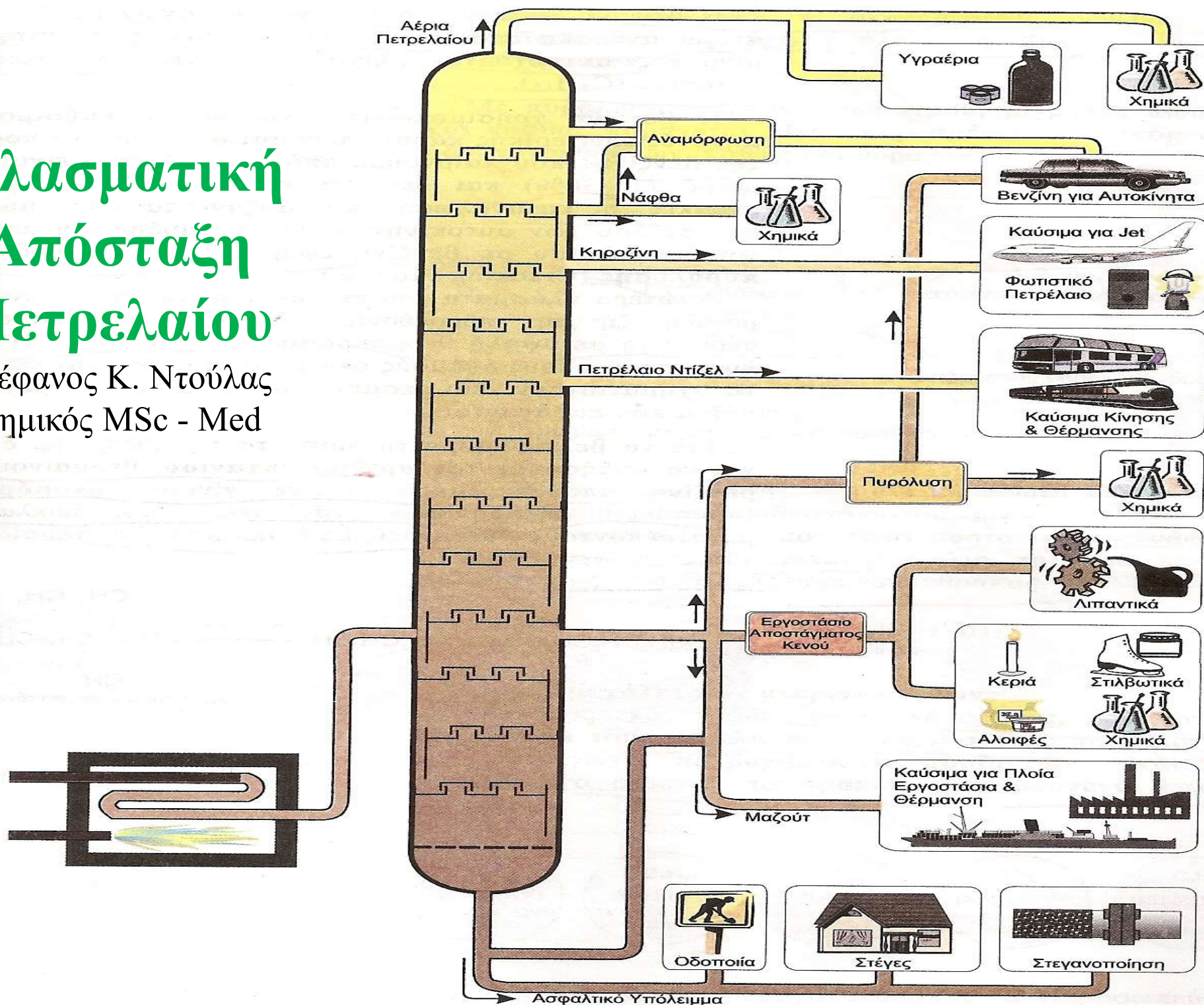
- Είναι η διεργασία διαχωρισμού μίγματος σε στήλη **επαφής ατμών-υγρού**, όπου οι ατμοί ρέουν κατ' αντιστροφή προς το υγρό και επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ των δύο φάσεων καθ' όλο το ύψος της στήλης.
- Η κατεύθυνση του ατμού-υγρού είναι προς τα πάνω και η συγκέντρωση των πτητικών αυξάνεται προς την 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

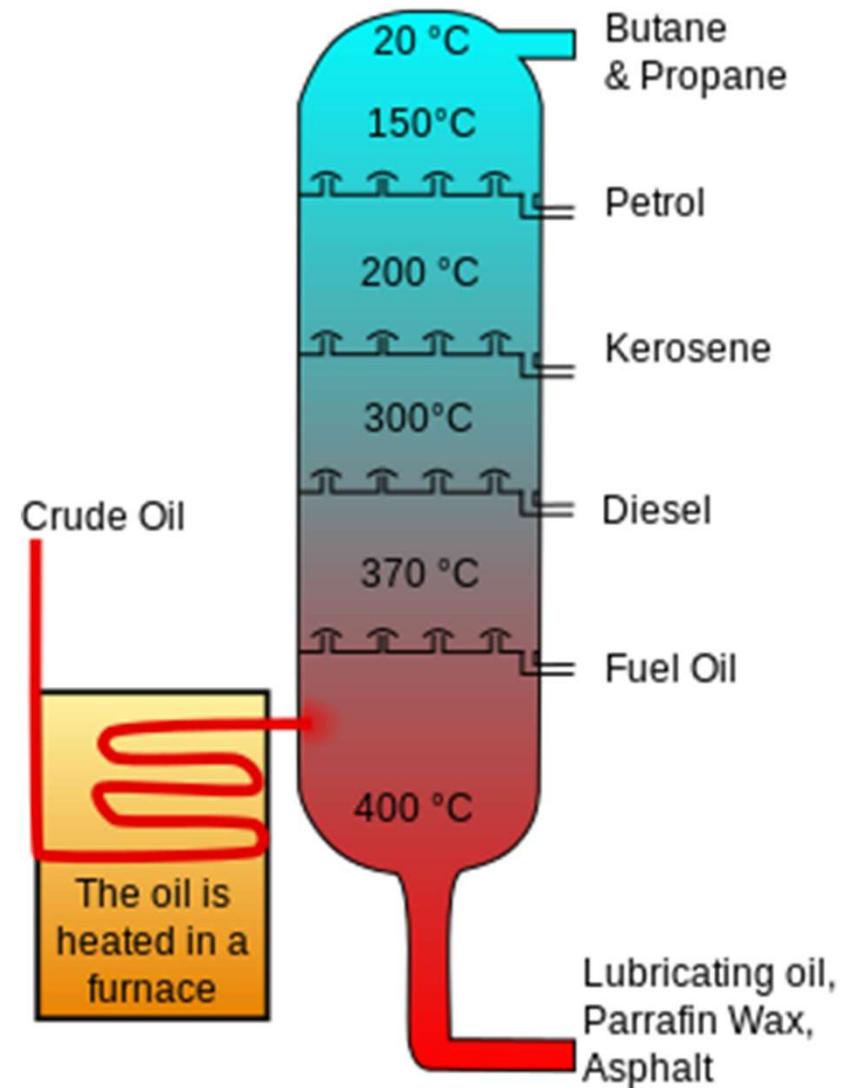


Κλασματική Απόσταξη Πετρελαίου

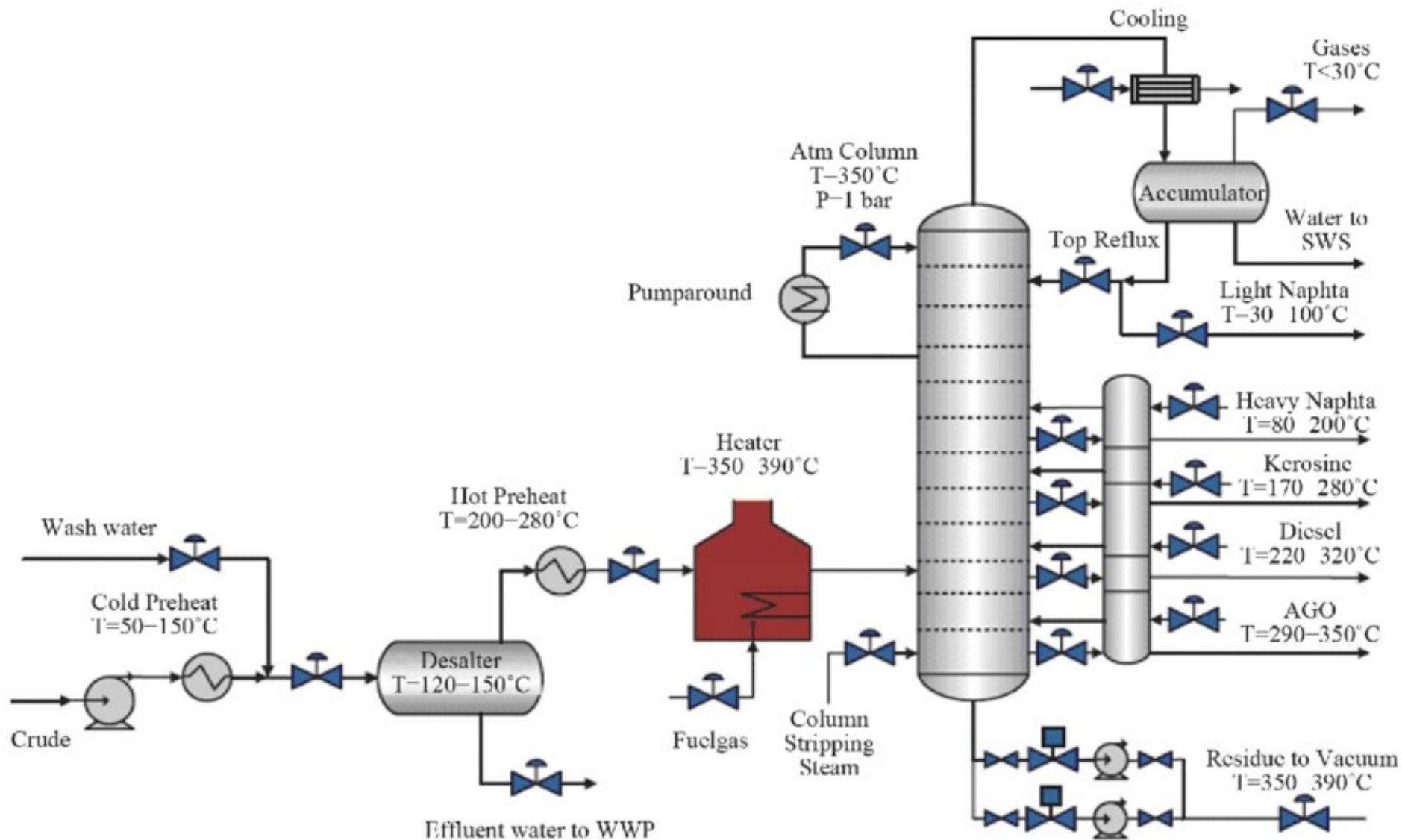
Στέφανος Κ. Ντούλας
Χημικός MSc - Med



Κλασματική Απόσταξη



Κλασματική Απόσταξη



ΝΑΦΘΑ

Η **νάφθα** είναι *ενδιάμεσο* προϊόν διύλισης 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^[1]. Ο όρος **νάφθα** είναι ένας **αρκετά γενικός όρος** και όχι αρκετά ακριβής όρος, διότι κάθε ένα διυλιστήριο 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.^[2]

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 (LPG: *liquified petroleum gas*- υγροποιημένο αέριο πετρελαίου)

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 "affinis" (= 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.

Πετρέλαιο – Νάφθα - Πετροχημικά

Στέφανος Κ. Ντούλας

Χημικός MSc - Med

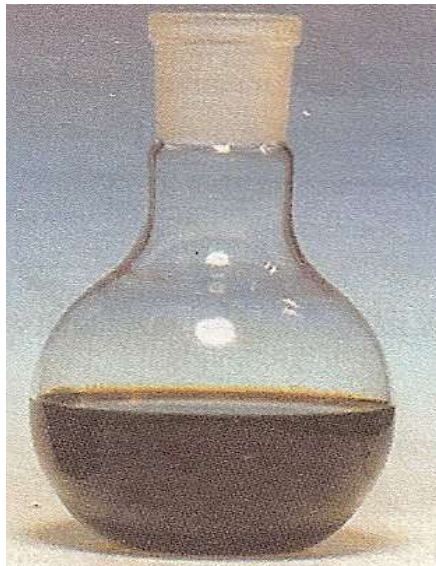
Καύση και καύσιμα

Καύσιμα

Υλικά που όταν καίγονται αποδίδουν μεγάλα ποσά θερμότητας.

Φυσικά καύσιμα

Λαμβάνονται έτοιμα από τη φύση όπως το πετρέλαιο οι γαιάνθρακες και το φυσικό αέριο.



Πετρέλαιο

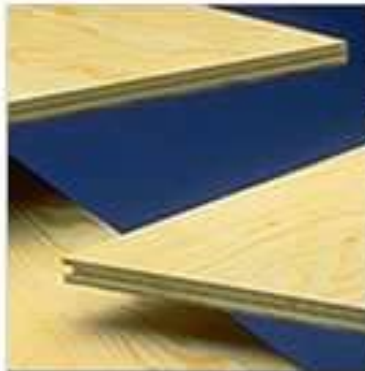


Γαιάνθρακας

Πετρέλαιο

Μαύρος Χρυσός

Adhesives



Carpeting



Cosmetics



Fertilizers



Paints



Rubber



Fabrics



Plastics

Αποτελεί τη βάση για την οικονομική ανάπτυξη κάθε χώρας

Πετρέλαιο

Υγρό ορυκτό αποτελούμενο από εκατοντάδες ουσίες

- Υγρούς υδρογονάνθρακες στους οποίους είναι διαλυμένοι αέριοι και στερεοί υδρογονάνθρακες
- Ενώσεις θείου, αζώτου και οξυγόνου σε μικρότερο ποσοστό.



Σχηματισμός Πετρελαίου

Το πετρέλαιο σχηματίστηκε:

- Πριν από **εκατομμύρια** χρόνια
- Από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς κυρίως **πλαγκτόν**
- Σε πολύ μεγάλα βάθη κάτω από **αμμώδεις** και **αργιλώδεις** εκτάσεις
- Με την επίδραση υψηλής **θερμοκρασίας** και **πίεσης**
- Μέσω αντιδράσεων που οδήγησαν στο σχηματισμό του.
- Αποτέλεσε βασικό συστατικό του **υγρού πυρός**

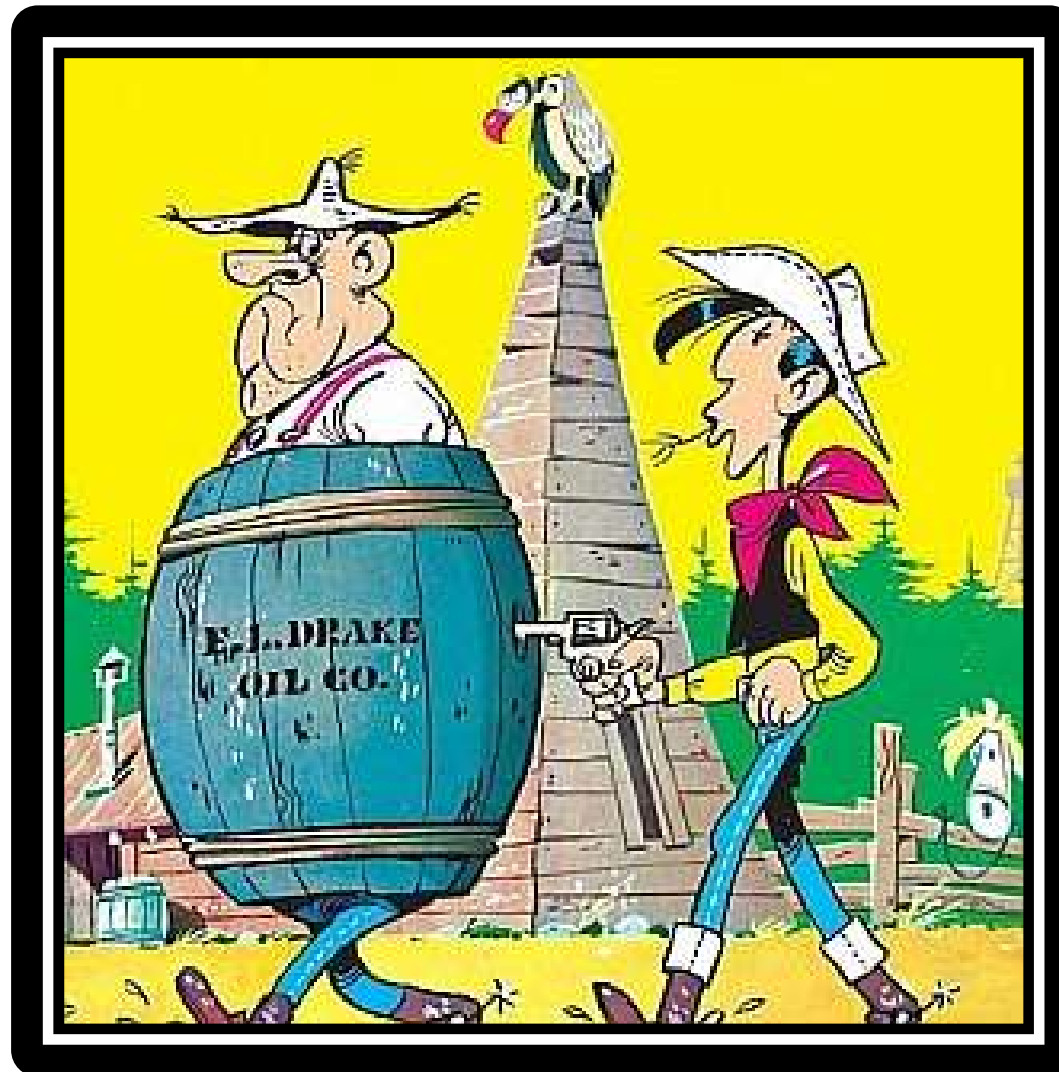


Εξόρυξη Πετρελαίου



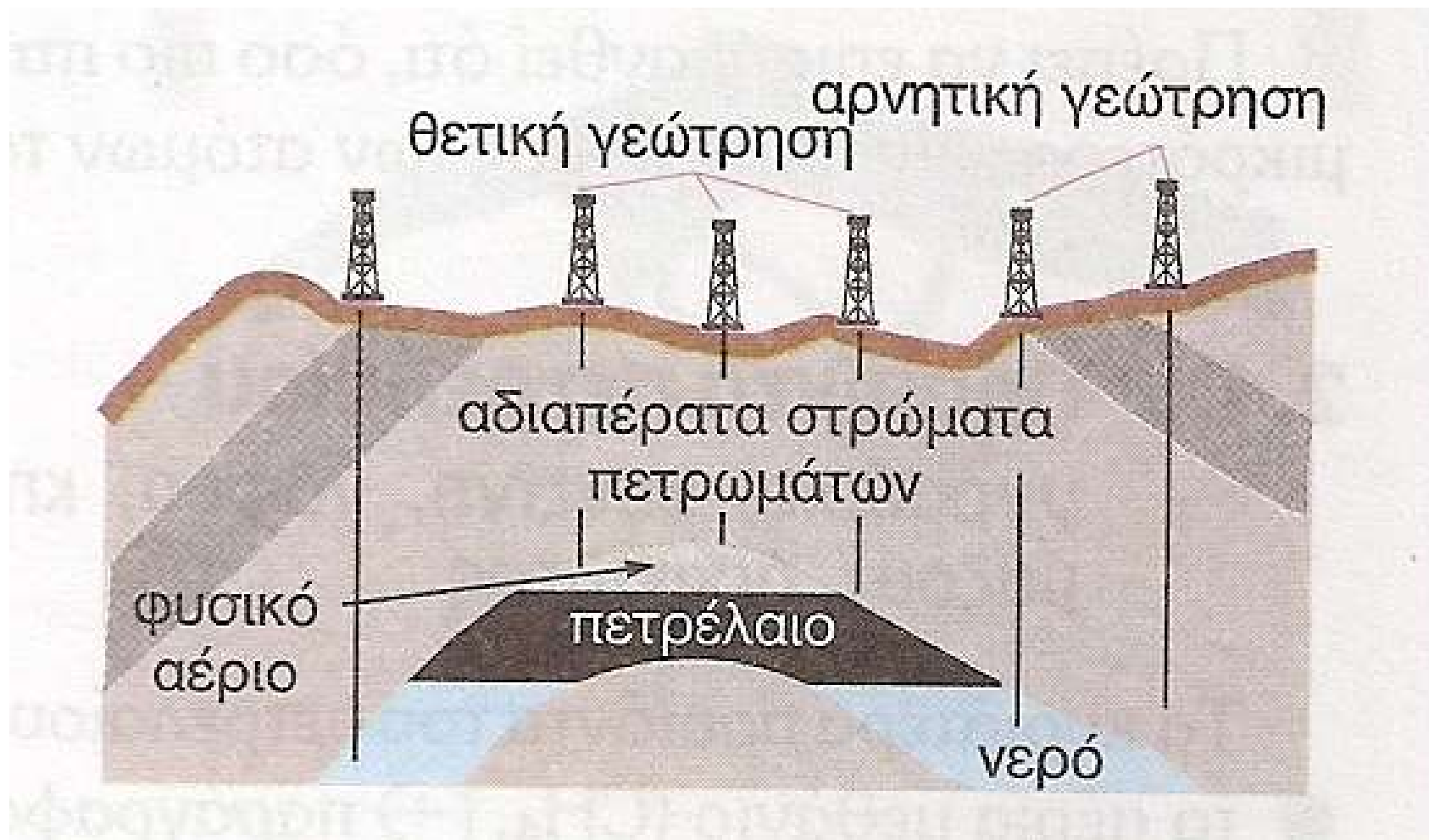
Εξόρυξη Πετρελαίου

...και ο Λούκυ Λουκ



Εξόρυξη Πετρελαίου

Η εξαγωγή του πετρελαίου γίνεται μέσω γεωτρήσεων



Εξόρυξη Πετρελαίου

Video 1-2: Oil and Gas extractions techniques

<https://www.youtube.com/watch?v=5UKMNRFMAI4>

(6.5 min)

<https://www.youtube.com/watch?v=xyYGf8vpt-w>

(5.30 min)

Η άντληση γίνεται σε **ξηρά** (πιο εύκολα) και **θάλασσα**



Το πετρέλαιο που παραλαμβάνεται αρχικά λέγεται **αργό πετρέλαιο**.

Εξόρυξη Πετρελαίου

Για να μετατραπεί σε εμπορεύσιμα είδη υφίσταται **διύλιση**

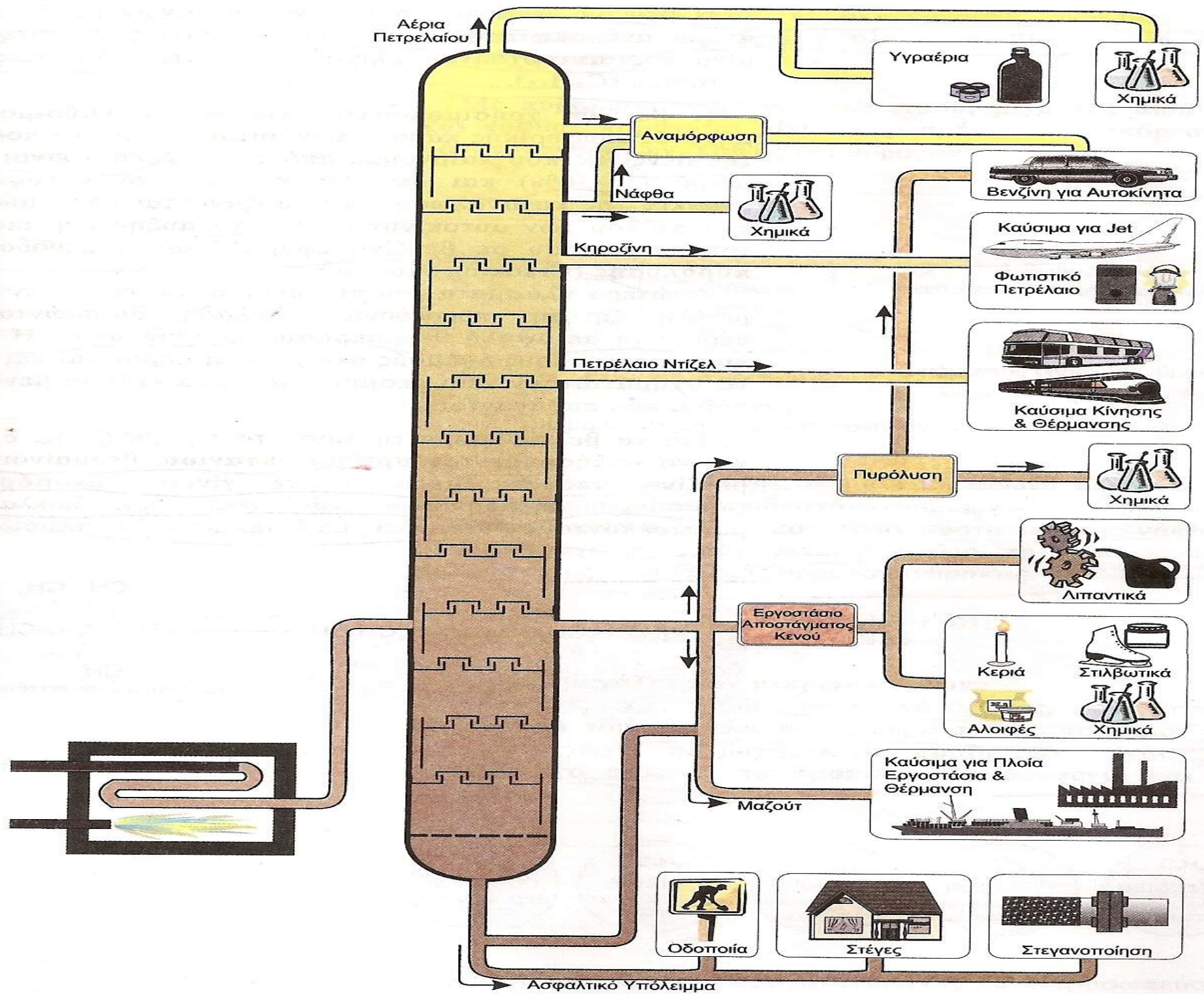


Διύλιση Πετρελαίου

Η διύλιση του πετρελαίου περιλαμβάνει:

- Απομάκρυνση των ξένων προς τους H/C ουσιών και κυρίως του θείου (Αποθείωση)
- Διαχωρισμός του σε κλάσματα ανάλογα με το σημείο ζέσεως (κλασματική απόσταξη)
- Πυρόλυση
- Καταλυτική αναμόρφωση





Κλασματική απόσταξη

Αέριο διύλισης, 40°C, 1-2%

Αλκάνια με ένα έως τέσσερα άτομα άνθρακα. Το κυριότερο συστατικό είναι το μεθάνιο.

Νάφθα, 40-220°C, 15-40%

Η νάφθα και η βενζίνη είναι όροι που περιγράφουν το υγρό μίγμα των υδρογονανθράκων, οι οποίοι περιέχουν ενώσεις C5 και C10.

Κηροζίνη, 160-250°C, 10-15%

Η κηροζίνη αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες C11 και C12

Κλασματική απόσταξη

Πετρέλαιο **εσωτερικής καύσης** (ντίζελ), 320-350°C, 15-20%
Εφαρμόζεται επίσης σε κάμινους θερμάνσεως.
Συχνά πυρολύεται για να παράγει μεγαλύτερη ποσότητα βενζίνης.

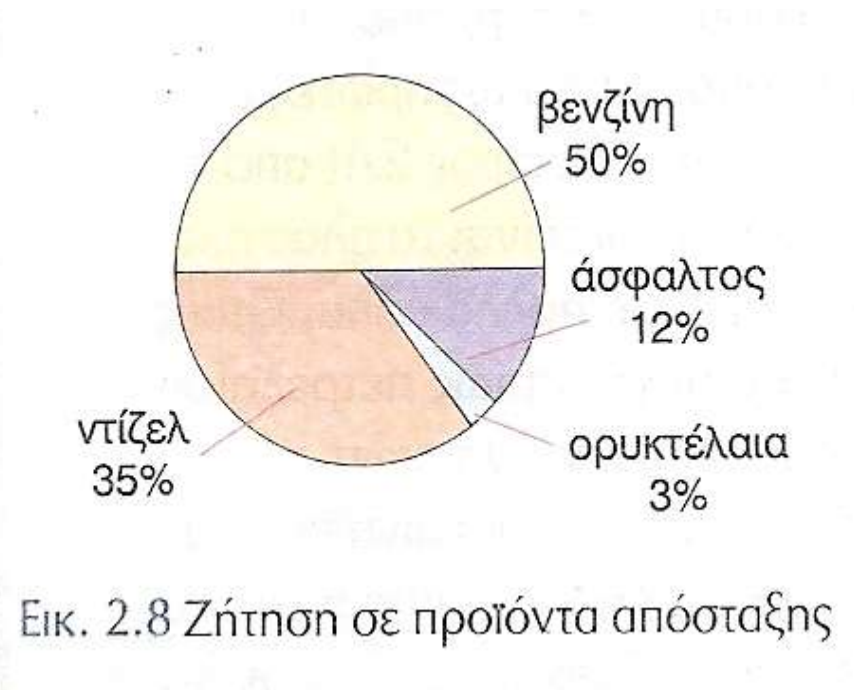
Υπόλειμμα, άνω των 350°C, 40-50%
Το υπόλειμμα είναι ένα πολύ σύνθετο μίγμα.
Τροφοδοτείται σε μία δεύτερη στήλη –σωλήνας κενού– για περαιτέρω απόσταξη.
Τα δύο κυριότερα κλάσματα που προκύπτουν από αυτό είναι τα λιπαντικά έλαια ή κεριά και η άσφαλτος.

Βενζίνη

Το σημαντικότερο κλάσμα της διύλισης του πετρελαίου

Μίγμα H/C με 5 έως 8 άτομα άνθρακα

Οι μέσες τιμές των ιδιοτήτων της πλησιάζουν αυτές του οκτανίου



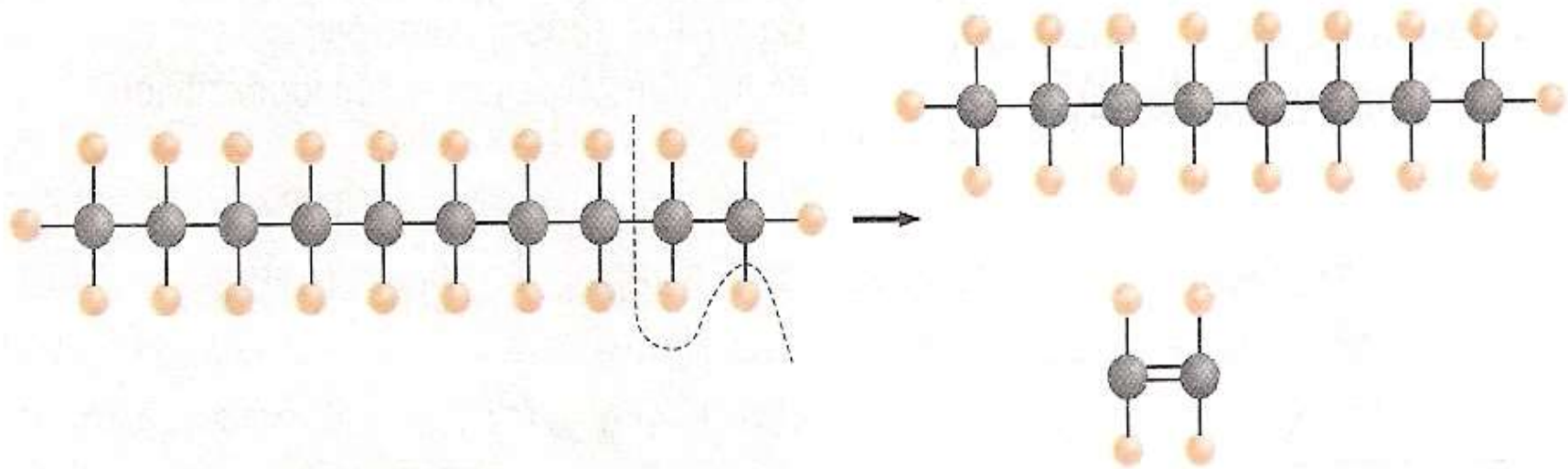
Η βενζίνη που λαμβάνεται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου
δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της αγοράς

Βενζίνη

Για να καλυφθούν οι ανάγκες, παράγεται βενζίνη από **ανώτερα κλάσματα πετρελαίου**

Τα ανώτερα κλάσματα δεν έχουν τόσο μεγάλη ζήτηση

Υποβάλλονται σε μια διαδικασία που λέγεται **πυρόλυση**



Εικ. 2.9 Ένας τρόπος πυρόλυσης του δεκανίου

Αριθμός Οκτανίου

Η ποιότητα της βενζίνης μετριέται με δείκτη που λέγεται
αριθμός οκτανίου

↑ αριθμού οκτανίου $\Rightarrow$ ↑ ποιότητας της βενζίνης



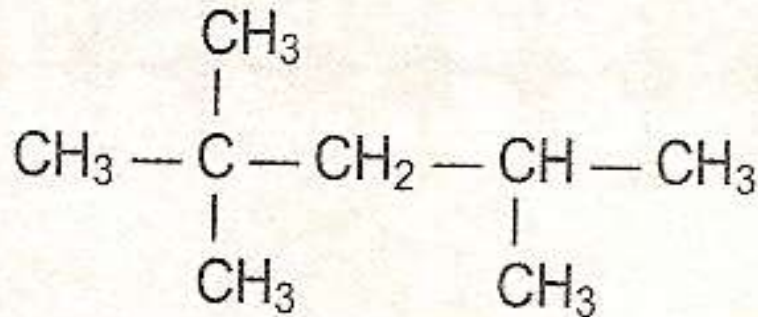
Η ποιότητα της βενζίνης καθορίζεται από τη συμπεριφορά της κατά την
καύση σε πρότυπο βενζινοκινητήρα
(Ομαλή ανάφλεξη χωρίς μικρο-εκρήξεις)

Αριθμός Οκτανίου

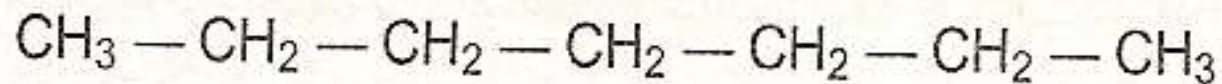
Η ποιότητα της βενζίνης μετριέται με δείκτη που λέγεται
αριθμός οκτανίου

Οι H/C με ευθύγραμμη αλυσίδα έχουν μικρό αριθμό οκτανίων

Οι H/C με πολλές διακλαδώσεις έχουν μεγάλο αριθμό οκτανίων



ΙΣΟΚΤΑΝΙΟ



ΕΠΤΑΝΙΟ



Νάφθα - Πετροχημικά



Νάφθα

Κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου με 5 έως 9 άτομα άνθρακα (μεταξύ βενζίνης και κηροζίνης)

Πρώτη ύλη για την Παρασκευή πετροχημικών.

Πετροχημικά

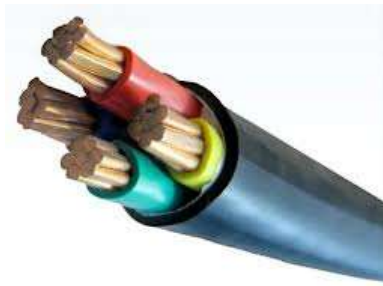
Υλικά που παρασκευάζονται από το πετρέλαιο



Πετροχημικά

Πρώτες ύλες πετροχημείας

- Μεθάνιο, αιθένιο, προπένιο, βουτένιο, 1-3 βουταδιένιο, βενζόλιο
- Ενώσεις με λίγα άτομα άνθρακα από τις οποίες μπορούν να παραχθούν άλλες οργανικές ενώσεις πολύπλοκης δομής
- Από τις ενώσεις αυτές παράγονται απορρυπαντικά, πολυμερή, αζωτούχα λιπάσματα, υφάνσιμες ίνες κλπ



Πολυμερή και πλαστικά

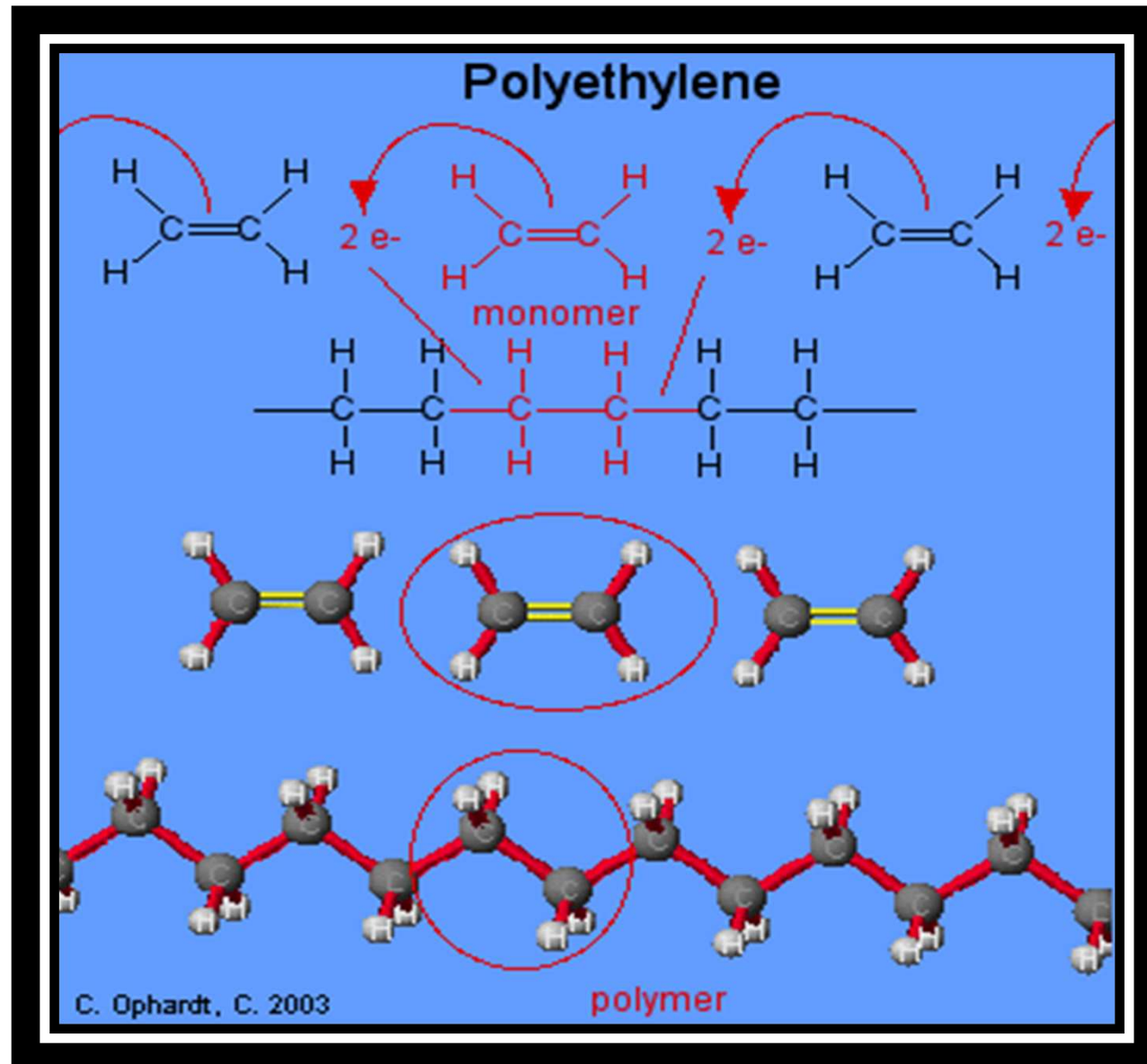


www.shutterstock.com - 78538786



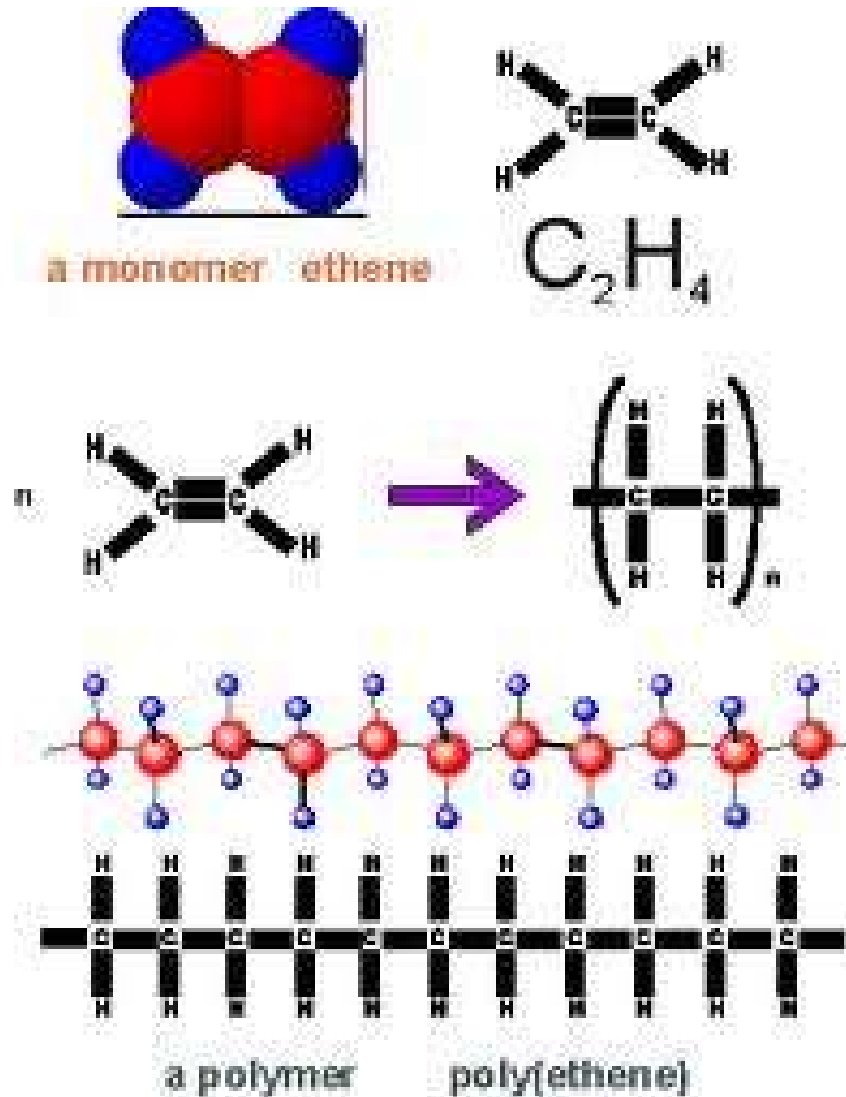
Πολυμερή και πλαστικά

Ο ρόλος των αλκενίων



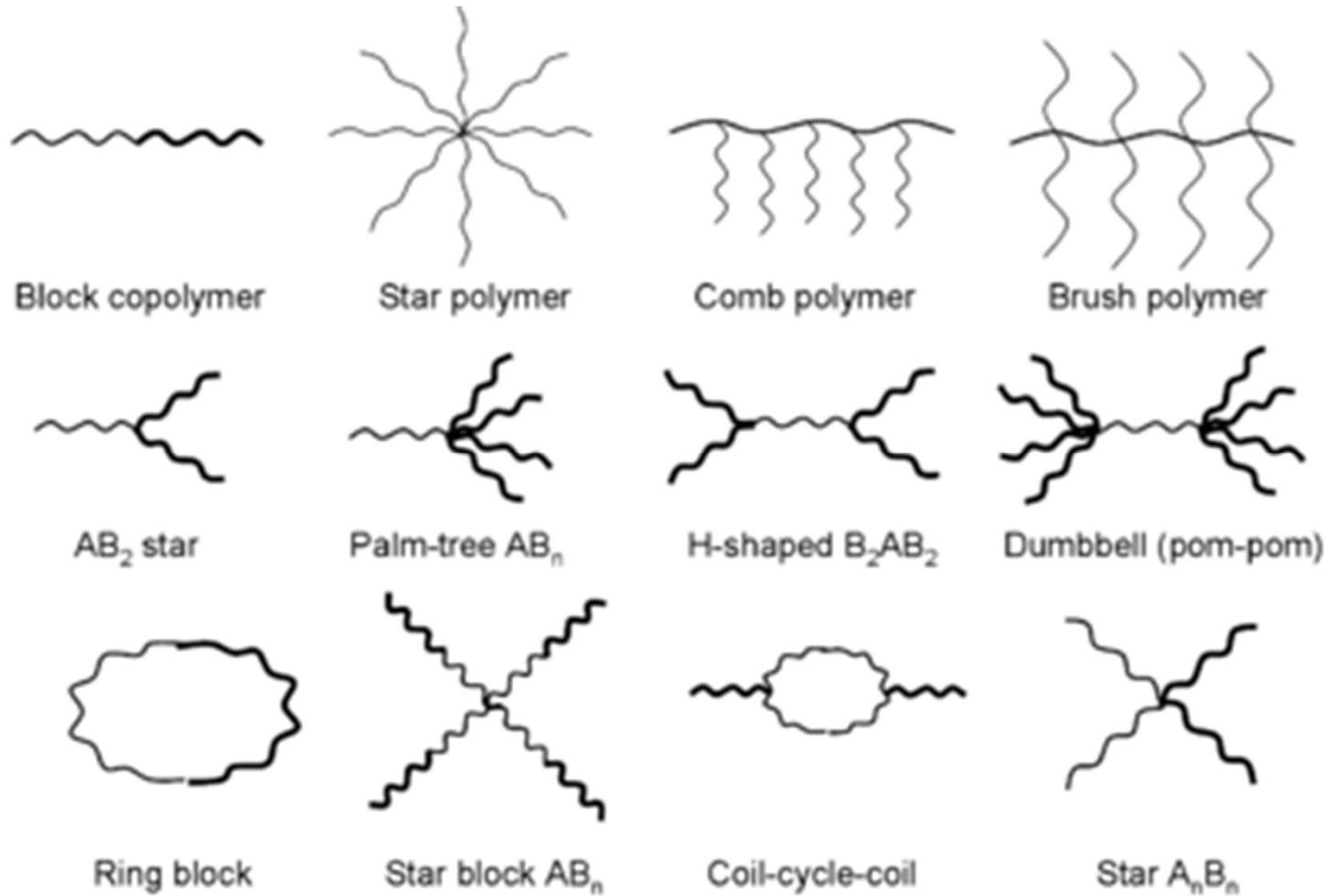
Πολυμερή και πλαστικά

Ο ρόλος των αλκενίων



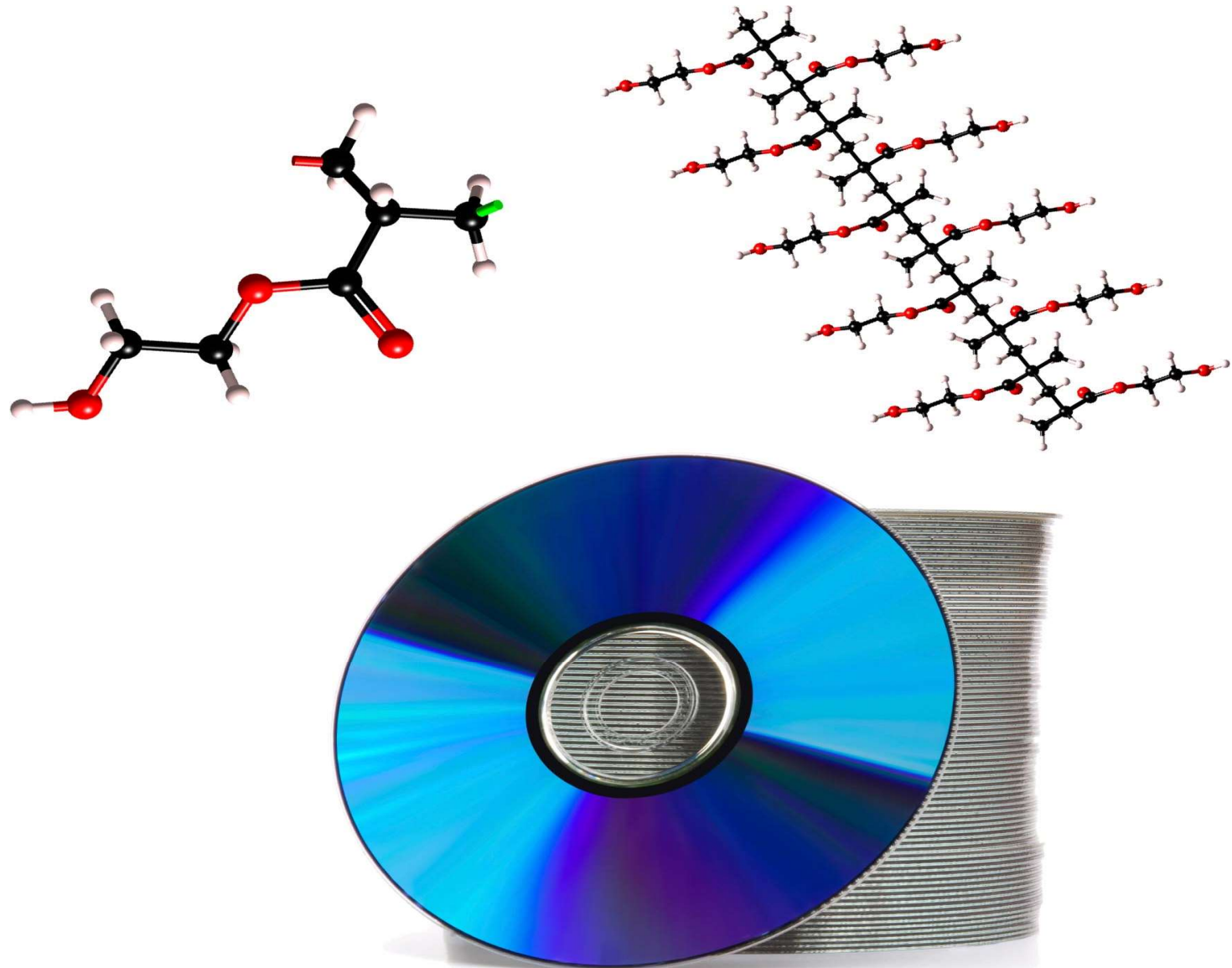
Πολυμερή και πλαστικά

Ο ρόλος των αλκενίων



Πολυμερή και πλαστικά

Ο ρόλος των αλκενίων



Πετρέλαιο και περιβάλλον

Καύσιμα, εξόρυξη, διύλιση, καυσαέρια, πλαστικά...



Πετρέλαιο και περιβάλλον



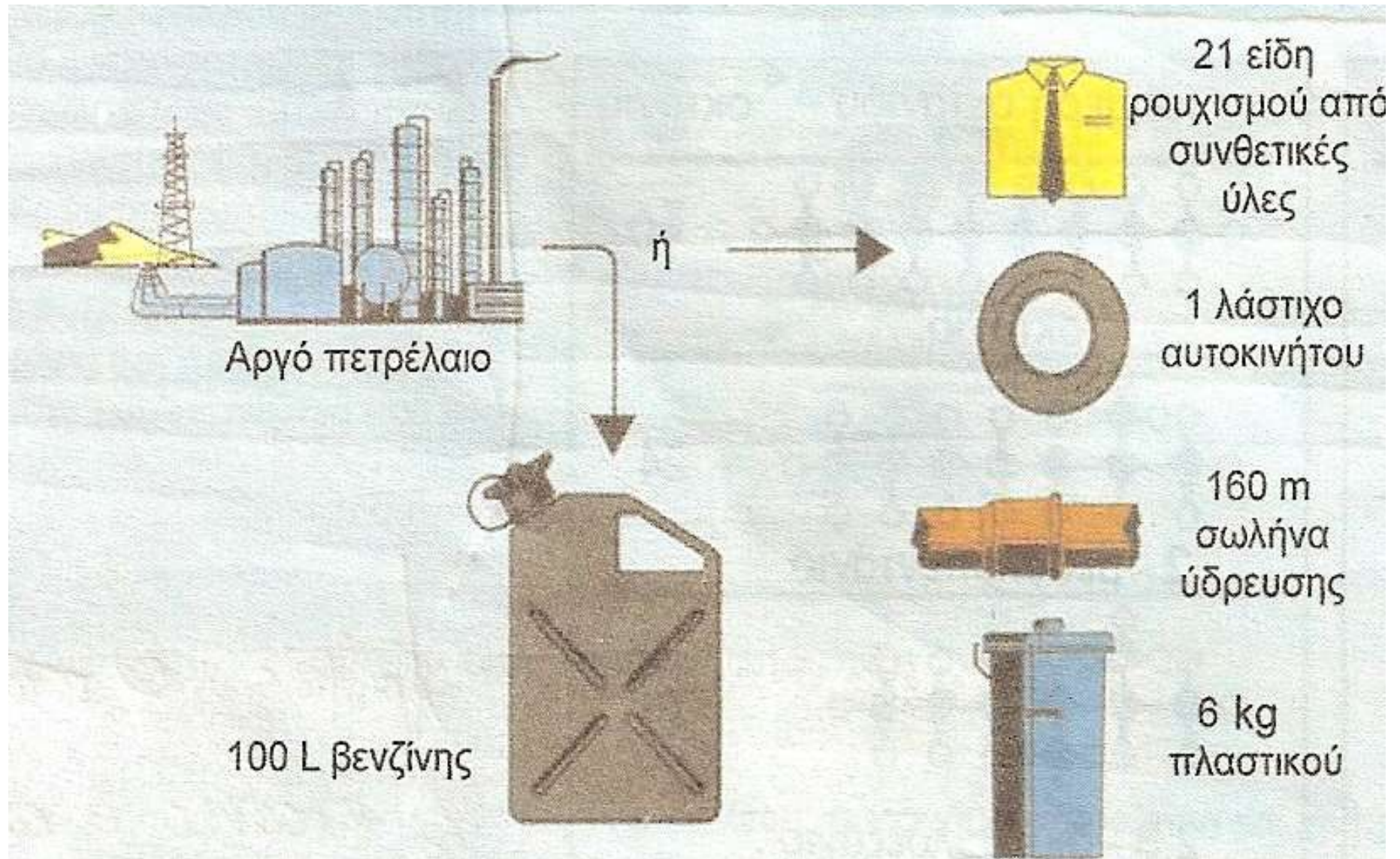


Πετρέλαιο και περιβάλλον

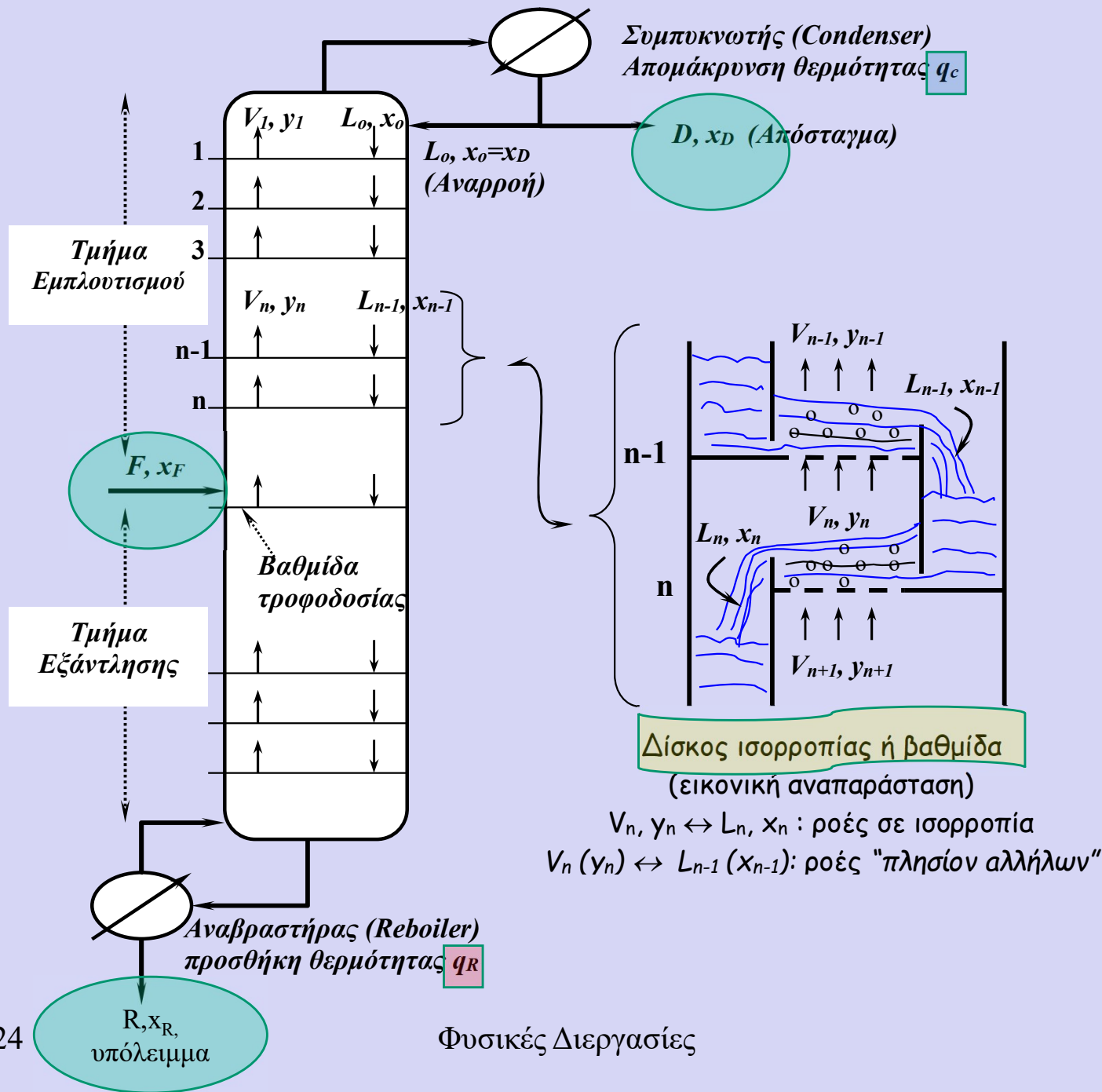


Το πετρέλαιο είναι υπερβολικά πολύτιμο για να καίγεται

1 βαρέλι σε λίτρα - 158,9 για υγρές ουσίες.



Φυσικές Διεργασίες



Κλασματική Απόσταξη

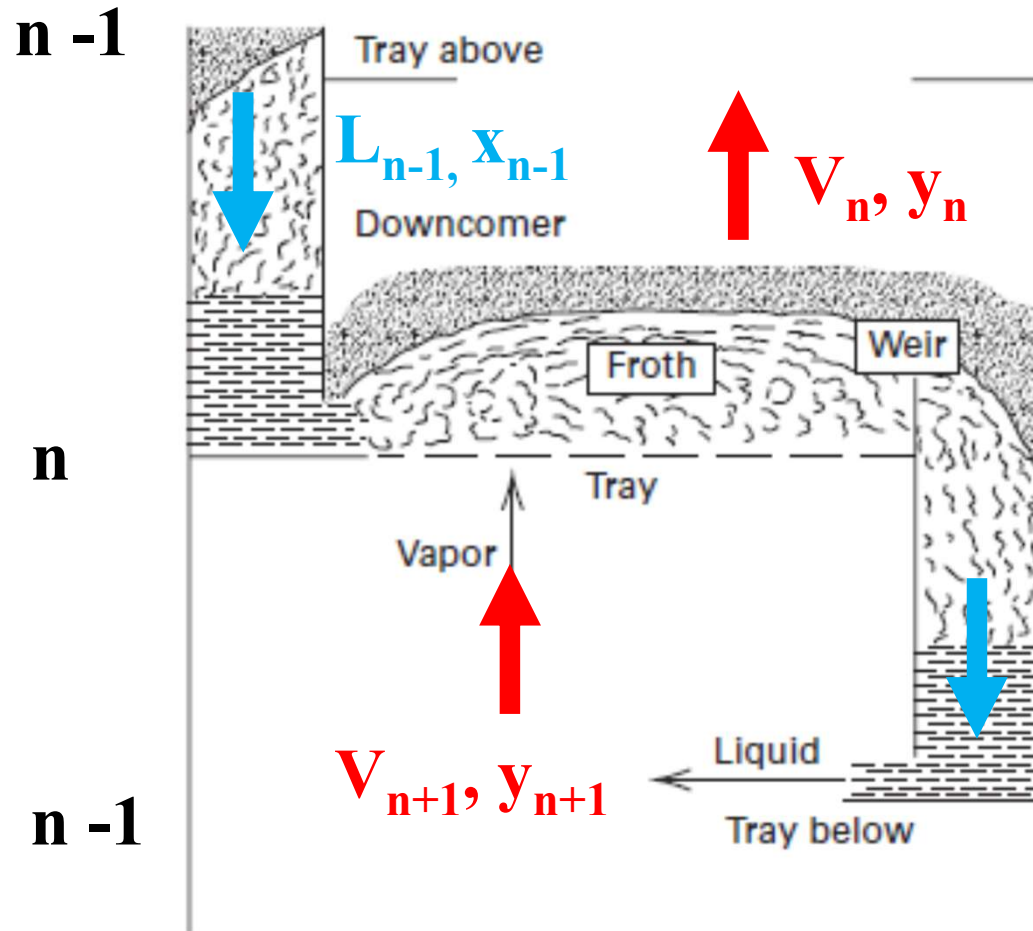


Figure 5.8 Typical vapor-liquid contacting tray.

Γραμμή Λειτουργίας
 $y_n = f(x_{n-1})$

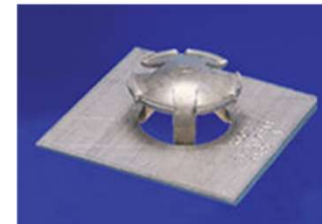
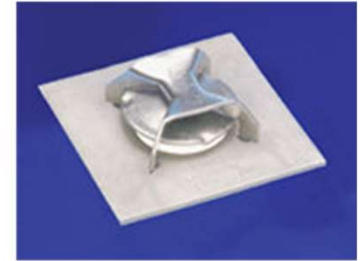
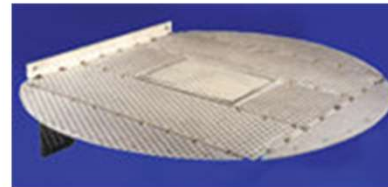
$L_{n-1}, x_{n-1} \longleftrightarrow V_n, y_n$

Καμπύλη Ισορροπίας
 $y_n = f(x_n)$

$L_n, x_n \longleftrightarrow V_n, y_n$

$$y_A = \frac{a_{AB} x_A}{1 + (a_{AB} - 1) x_A}$$

Κλασματική Απόσταξη Βαθμίδες Ισορροπίας



Κλασματική Απόσταση Βαθμίδες Ισορροπίας



Κλασματική Απόσταξη Βαθμίδες Ισορροπίας

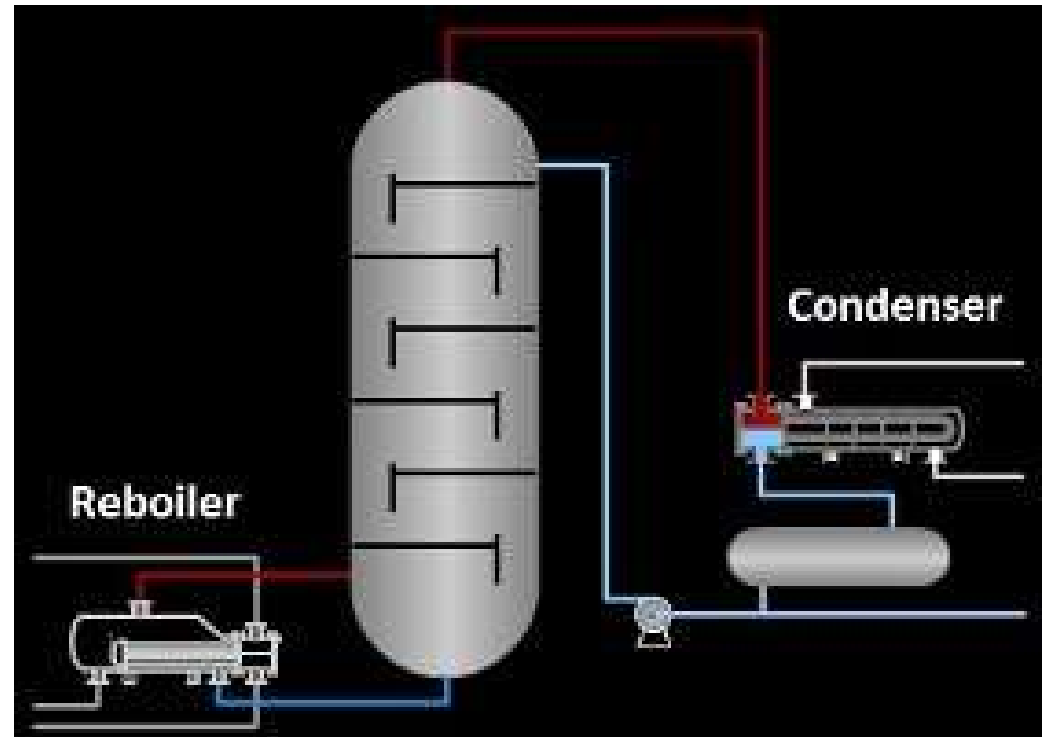


Κλασματική Απόσταξη

- 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

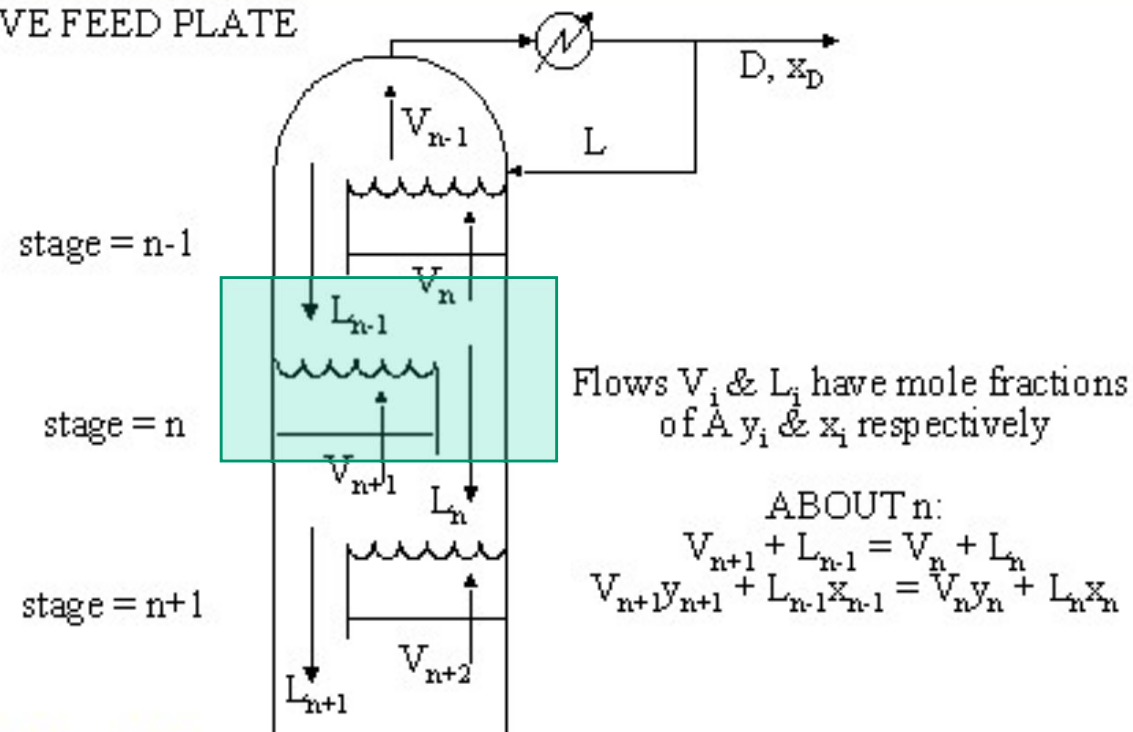


Κλασματική Απόσταξη

Unit Operations 1 - Distillation

Fractional distillation - McCabe/Thiele

ABOVE FEED PLATE



dist McCabe.ppt (3)

Κλασματική Απόσταξη

Unit Operations 1 - Distillation

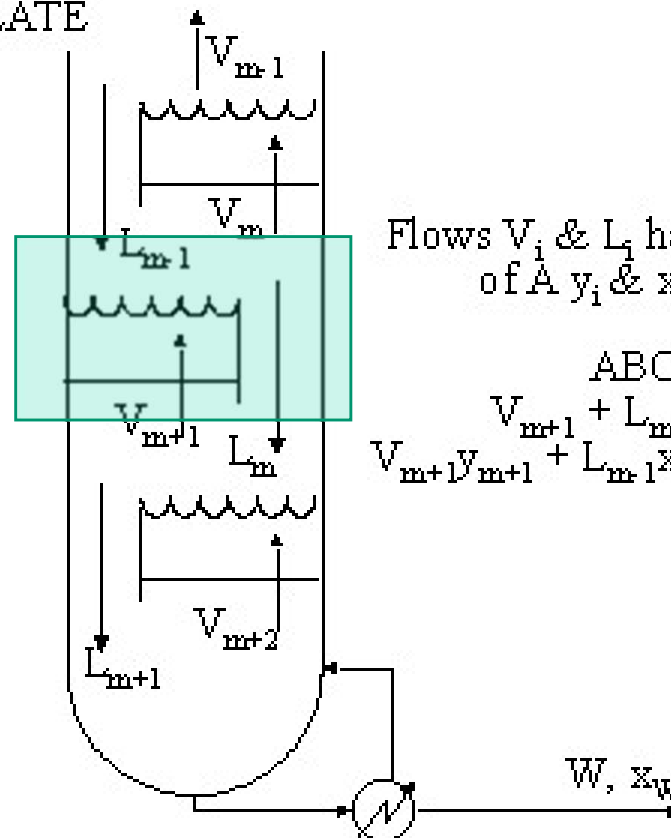
Fractional distillation - McCabe/Thiele

BELOW FEED PLATE

stage = m-1

stage = m

stage = m+1



Flows V_i & L_i have mole fractions of y_i & x_i respectively

ABOUT m:

$$V_{m+1} + L_{m-1} = V_m + L_m$$

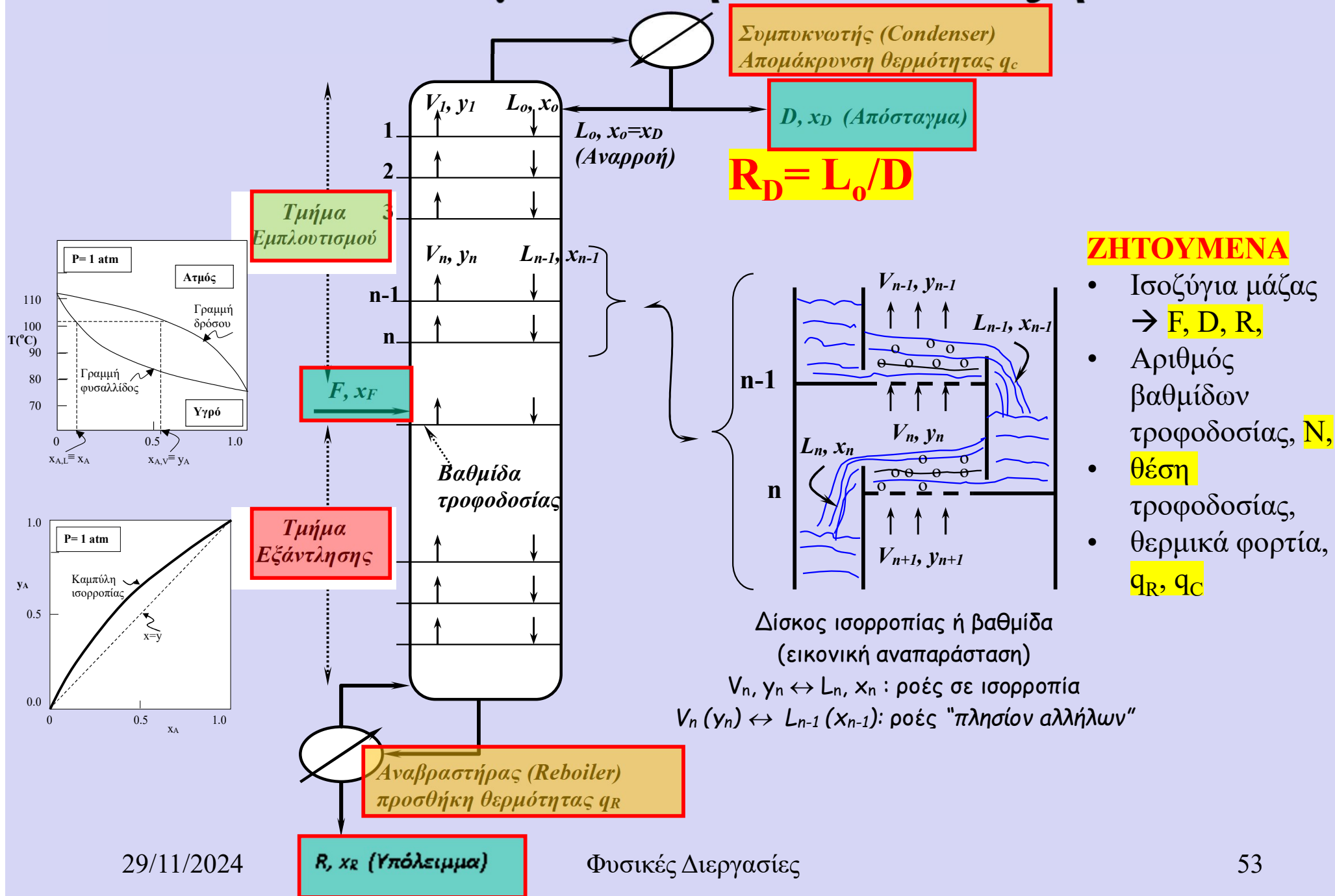
$$V_{m+1}y_{m+1} + L_{m-1}x_{m-1} = V_my_m + L_mx_m$$

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 δυσχερέστερος διαχωρισμός (δηλαδή περισσότερες βαθμίδες για να φθάσουμε σε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα)

Κλασματική Απόσταξη



ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ

- Ισοζύγια μάζας $\rightarrow F, D, R,$
- 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

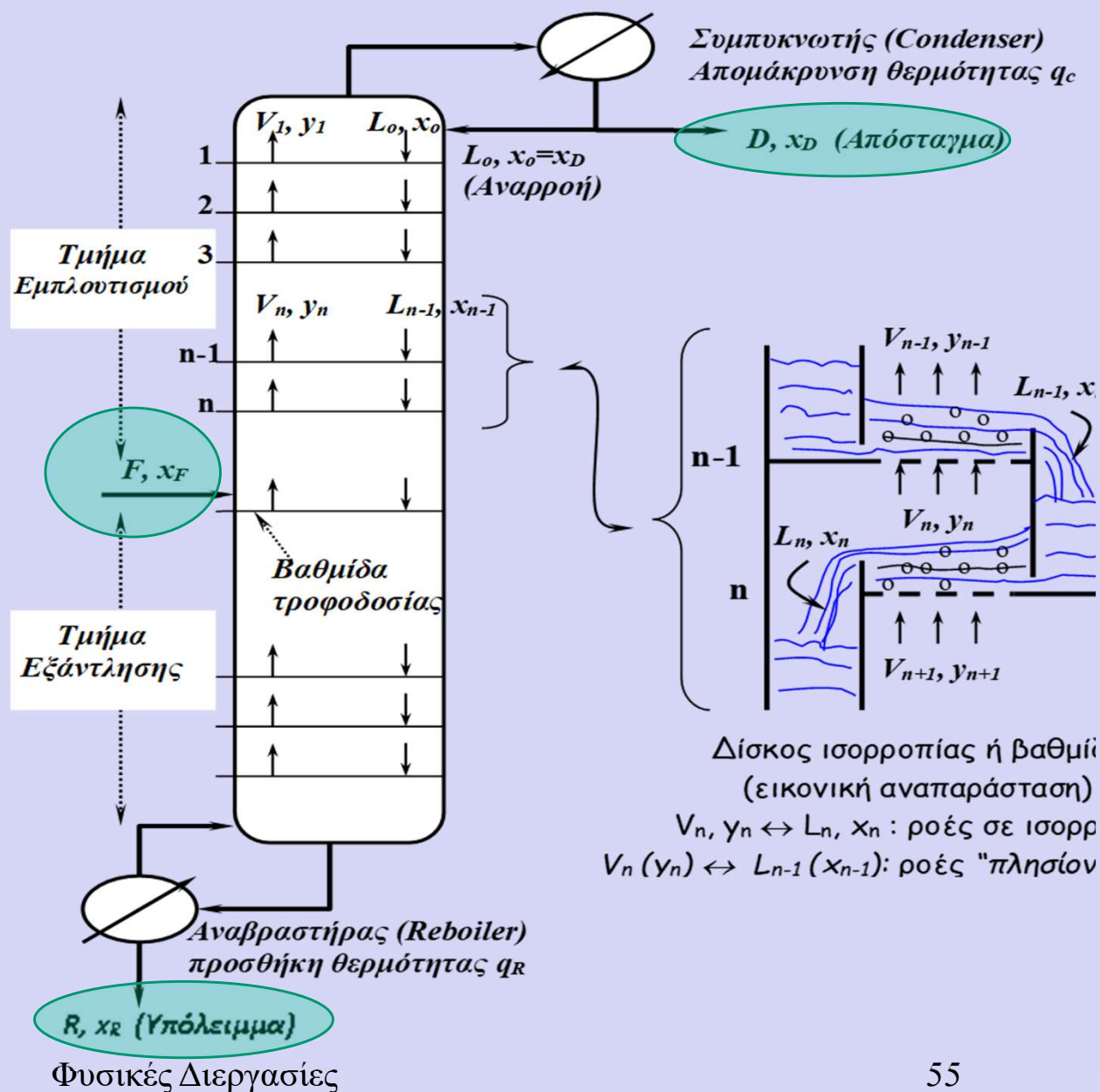
Ισοζύγιο Πτητικού (Α)

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

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

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

29/11/2024



Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ολικό Ισοζύγιο μάζας, (Υλικών)

$$F = D + R$$

Παροχή Τροφοδοσίας = παροχή αποστάγματος + παροχή υπολείμματος

Ισοζύγιο Πτητικού (Α)

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

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

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

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

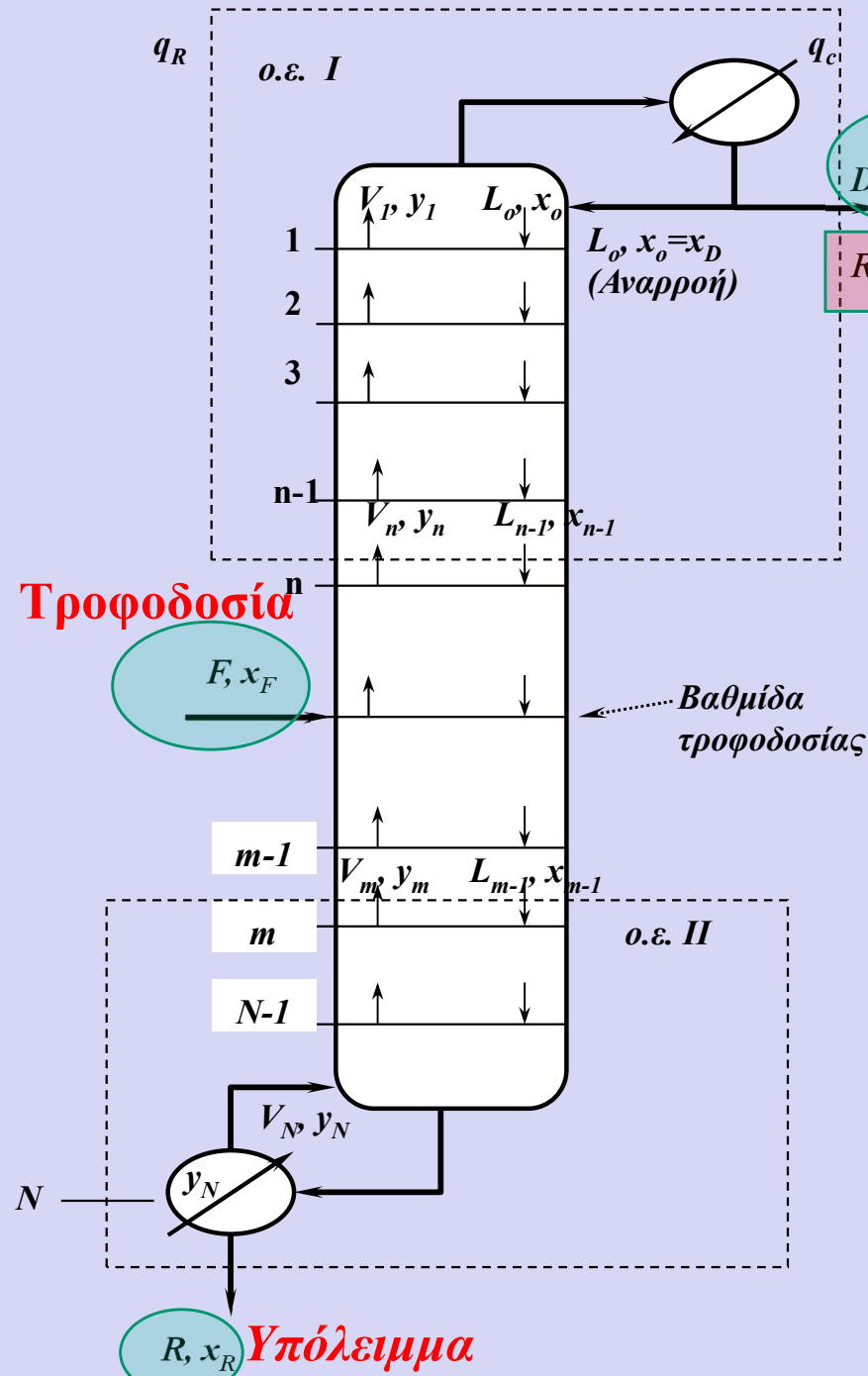
$$R (x_D - x_R) = F x_D - F x_F = F (x_D - x_F)$$

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

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

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

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης



D, x_D (Απόσταγμα)

$R_D = L_o/D$ Λόγος Αναρροής

Ισοζύγια μάζας στους Ο.Ε.

• Γραμμή εμπλουτισμού:

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

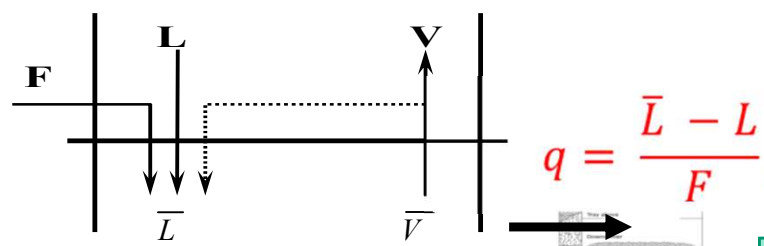
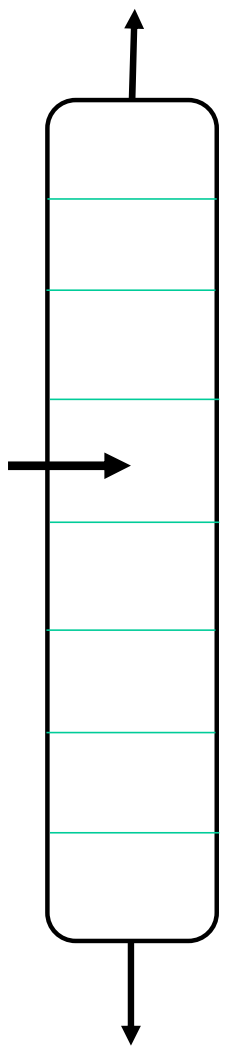
$$y_n = \frac{R_D}{R_D+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D+1}$$

• Γραμμή εξάντλησης:

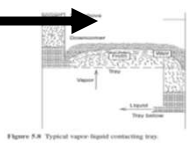
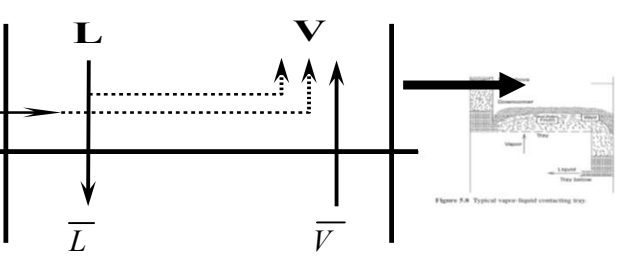
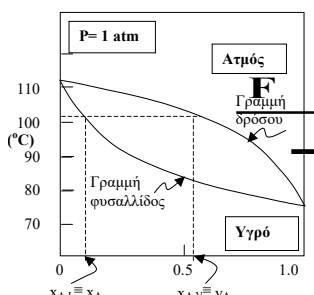
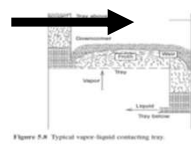
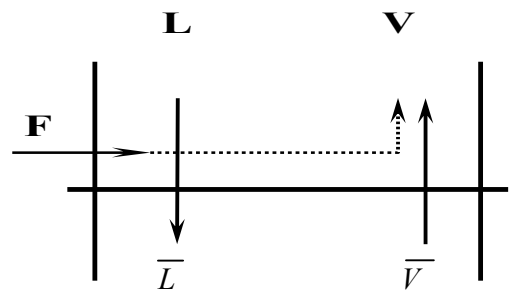
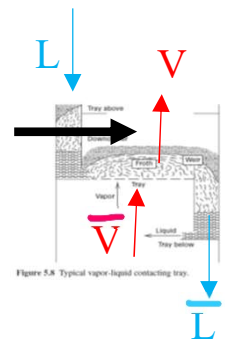
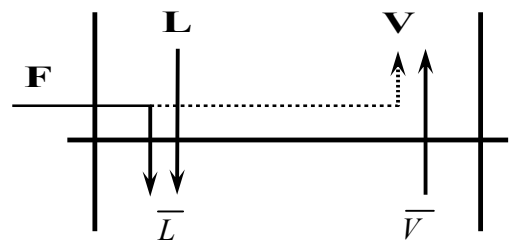
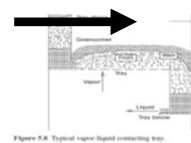
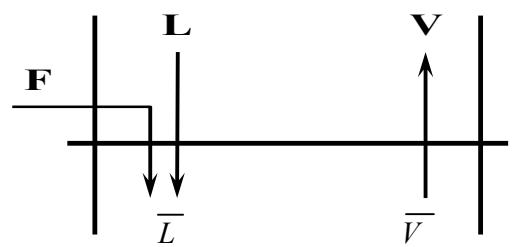
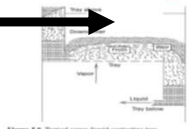
$$y_m = \frac{\bar{L}}{\bar{L}-R} x_{m-1} - \frac{R}{\bar{L}-R} x_R$$

• Γραμμή τροφοδοσίας ή q -line:

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



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



(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 (ερικώς εξατμισμένο υγρό): μέρος της τροφοδοσίας αυξάνει την ποσότητα υγρού το τμήμα εξάντλησης, ενώ το υπόλοιπο υξάνει 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 :
 $q < 0 \rightarrow q = C_{pV} (T_{\sigma.\delta\rho.} - T_F) / \lambda$

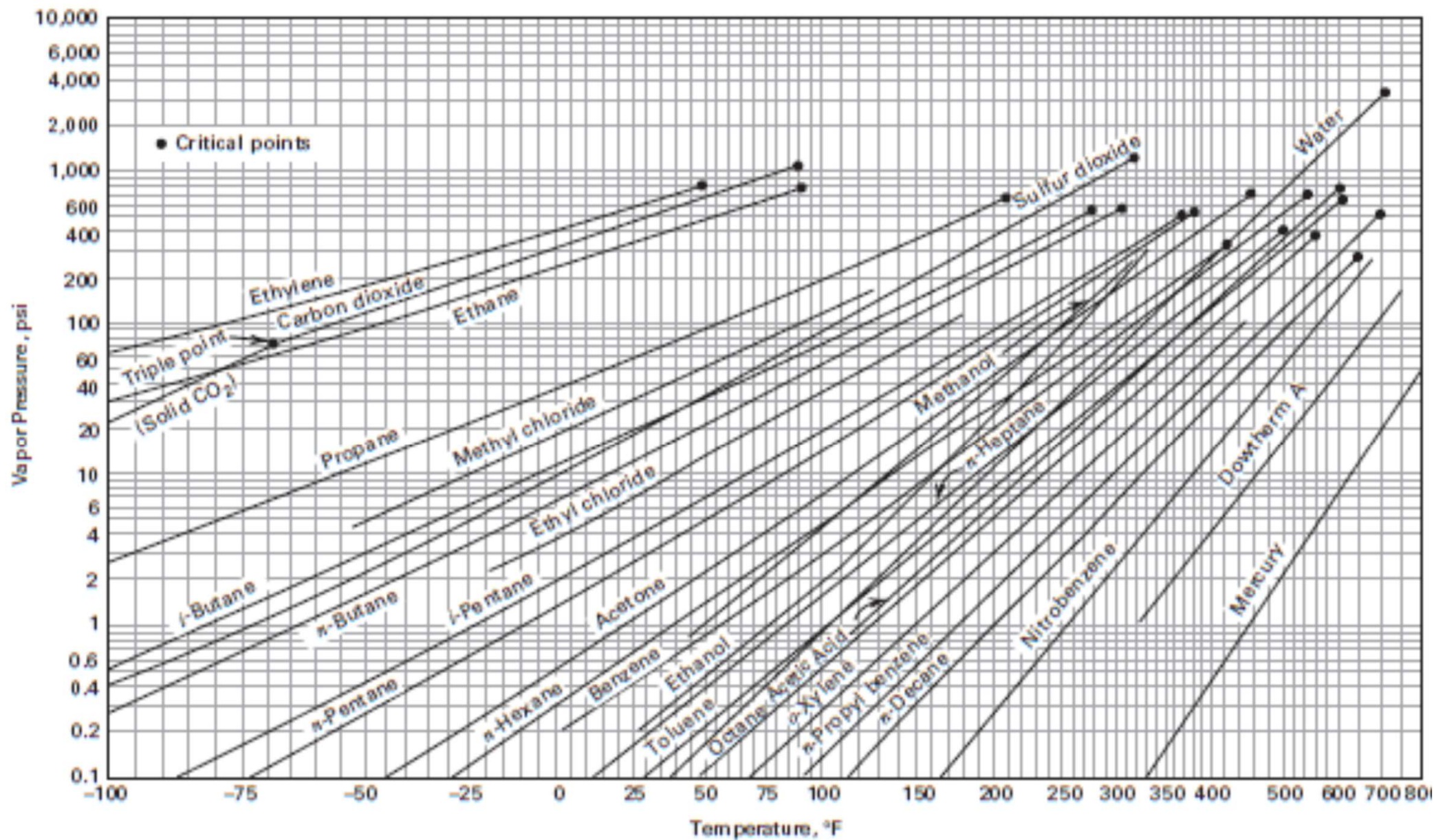


Figure 2.1 Vapor pressure of some common industrial chemicals.

ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

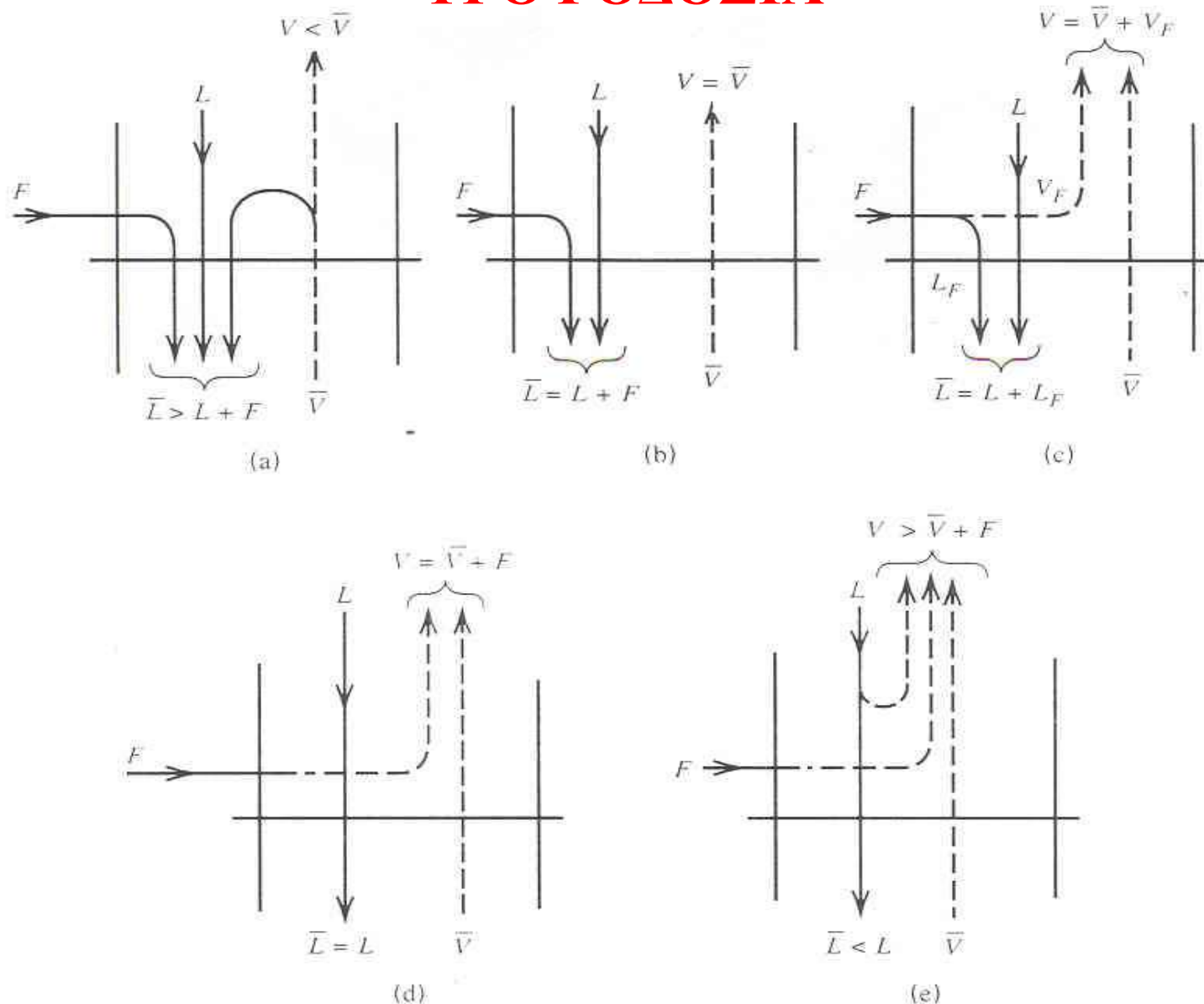
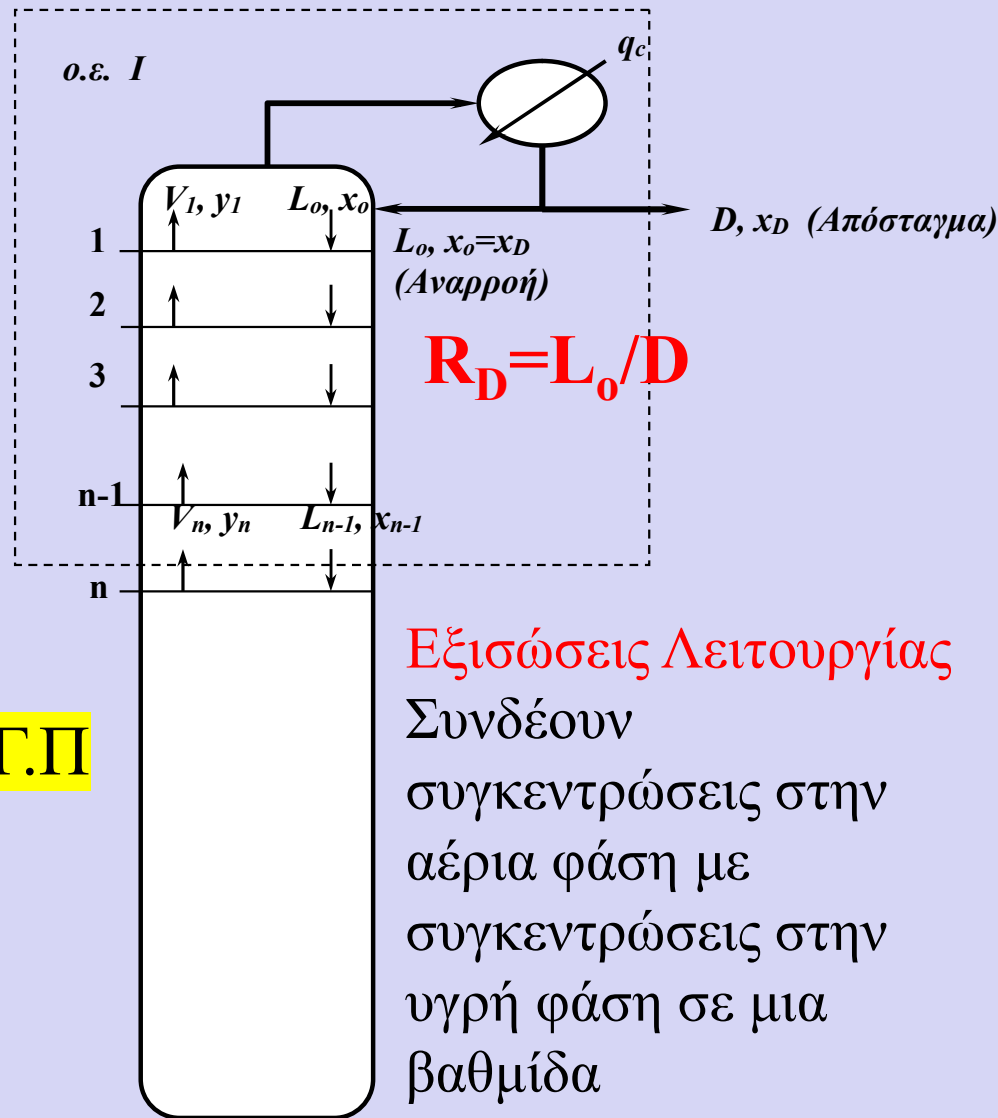


Figure 7.7 Possible feed conditions: (a) subcooled liquid feed; (b) bubble-point liquid feed; (c) partially vaporized feed; (d) dew-point vapor feed; (e) superheated vapor feed. [Adapted from W.L. McCabe, J.C. Smith, and P. Harriott. *Unit Operations of Chemical Engineering*, 5th ed., McGraw-Hill, New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

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

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

Υ.Σ.Γ.Π

Εξισώσεις Λειτουργίας
Συνδέουν
συγκεντρώσεις στην
αέρια φάση με
συγκεντρώσεις στην
υγρή φάση σε μια
βαθμίδα

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, $R_D = L/D$

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

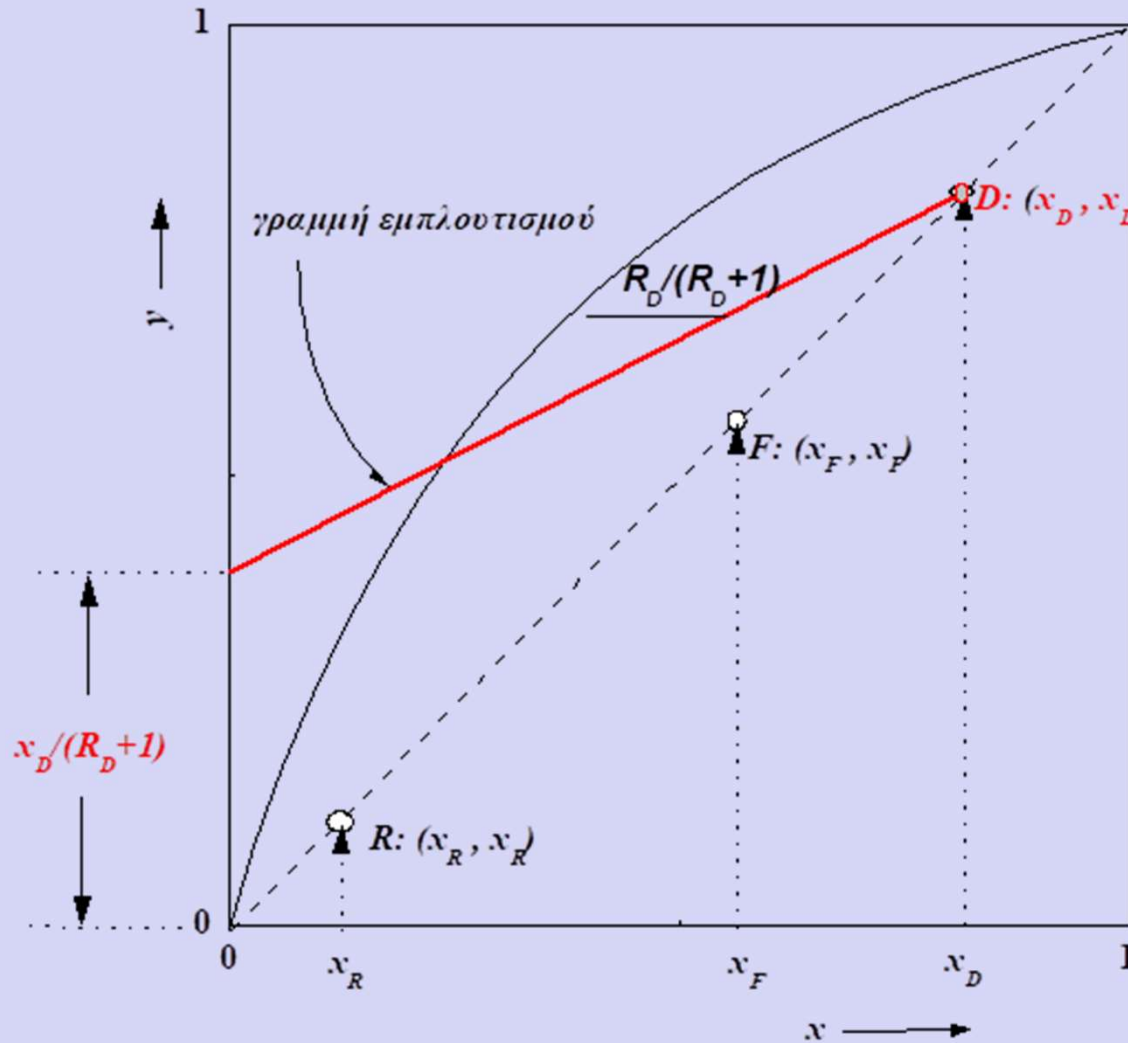
Κλίση της γραμμής $\frac{R_D}{R_D + 1}$

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

Για $x=x_D$

$$\begin{aligned} y_n &= \frac{R_D}{R_D + 1} x_D + \frac{1}{R_D + 1} x_D = \frac{(R_D + 1)}{(R_D + 1)} x_D \\ &= x_D \end{aligned}$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης – Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού



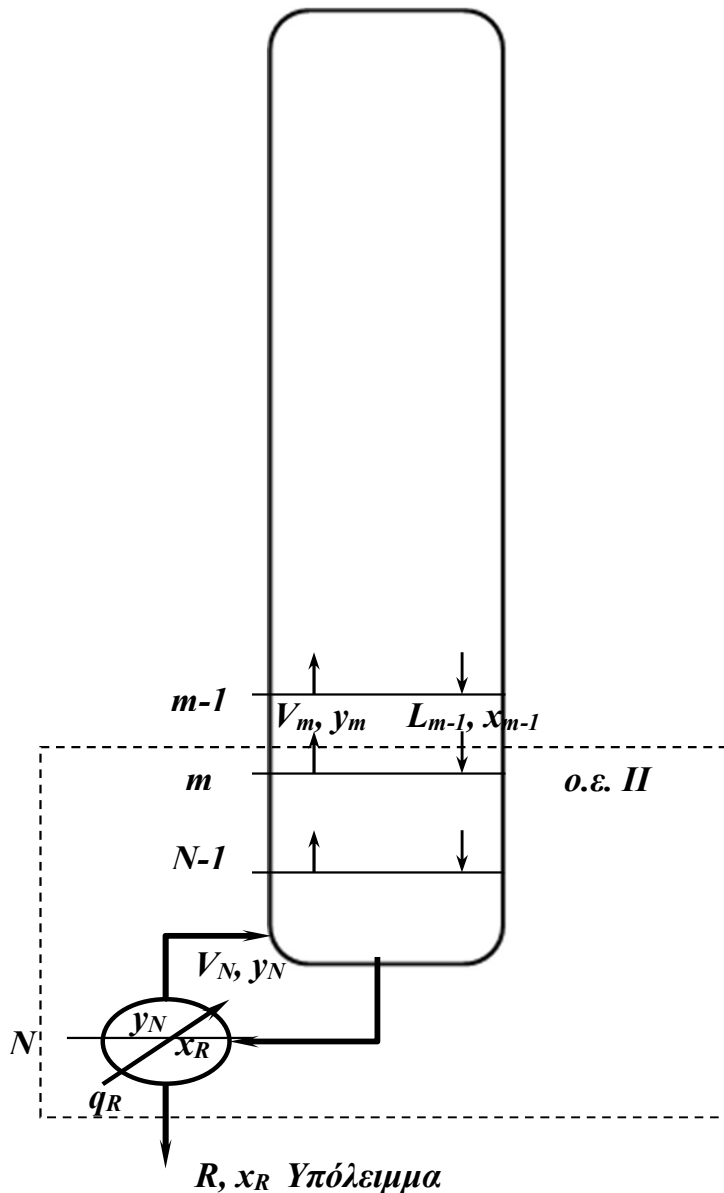
$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

(α) διέρχεται από το σημείο (x_D, x_D) της διαγώνιου

(β) έχει κλίση: $R_D/(R_D+1)$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης



Ολικό Ισοζύγιο

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

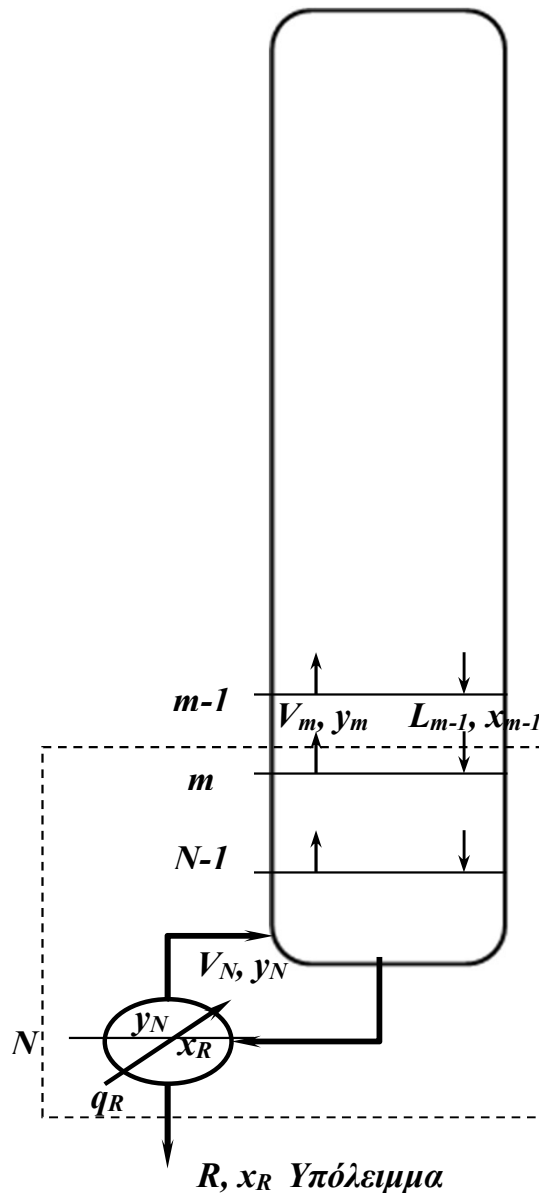
Ισοζύγιο Πτητικού

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

Λύνοντας ως προς y_n

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

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

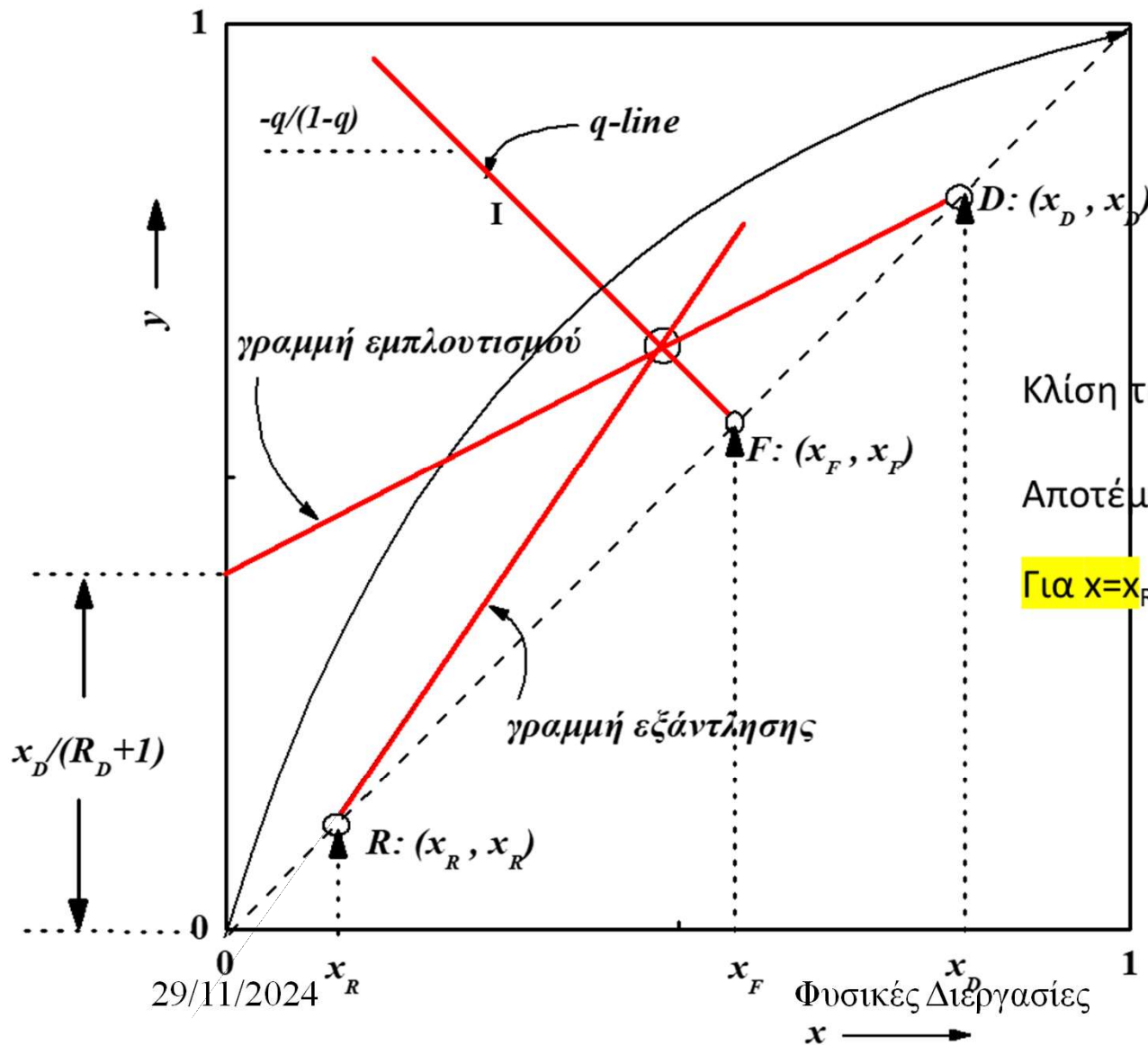
Για $x=x_R$

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

29/11/2024

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".

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

$$\left. \begin{array}{l} (2.75) \xrightarrow{\text{για } x_{n-1}=x, y_n=y} Vy = Lx + Dx_D \\ (2.78) \xrightarrow{\text{για } x_{m-1}=x, y_m=y} \bar{V}y = \bar{L}x - Rx_R \end{array} \right\}$$

(αφαιρώντας κατά μέλη) $\Rightarrow$

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

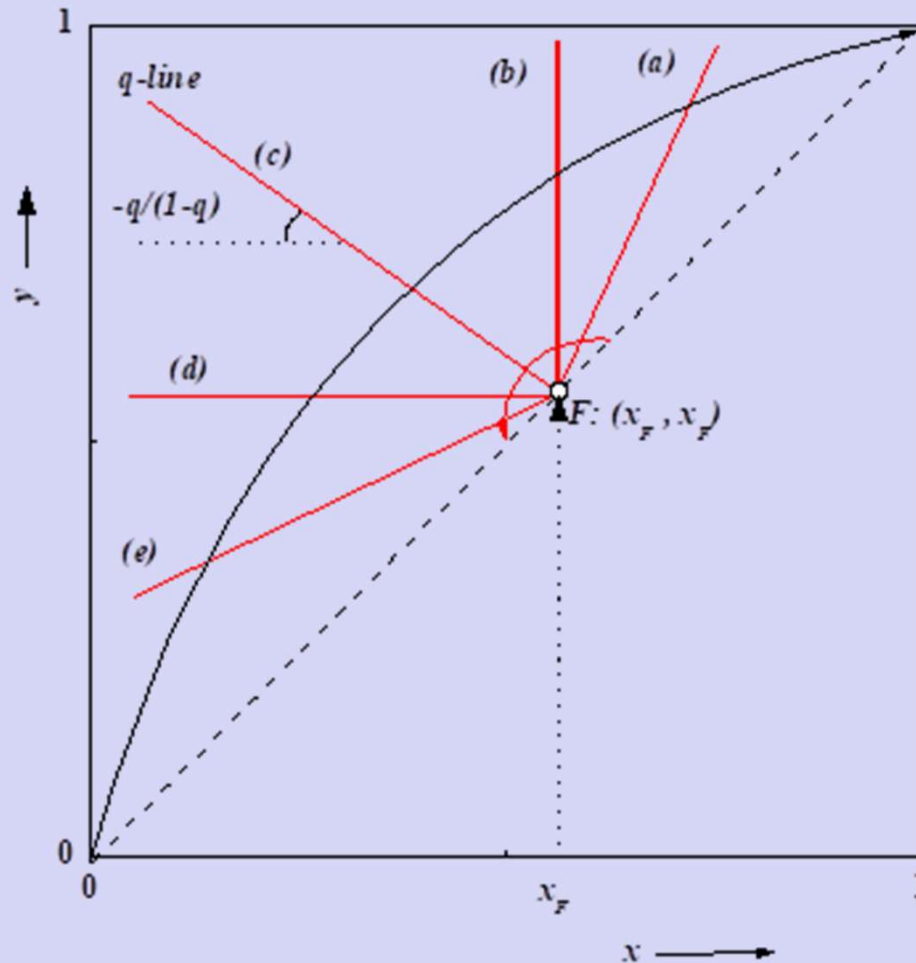
$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

(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*:

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

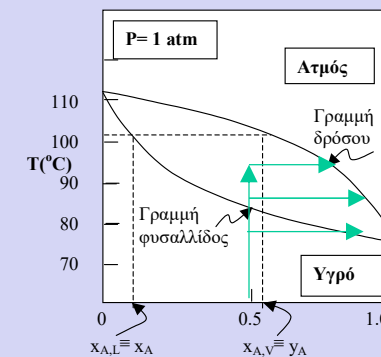
(a): $q > 1$, υπόψυκτο υγρό

(b): $q = 1$, κορεσμένο υγρό

(c): $0 < q < 1$, υγρό+ατμός

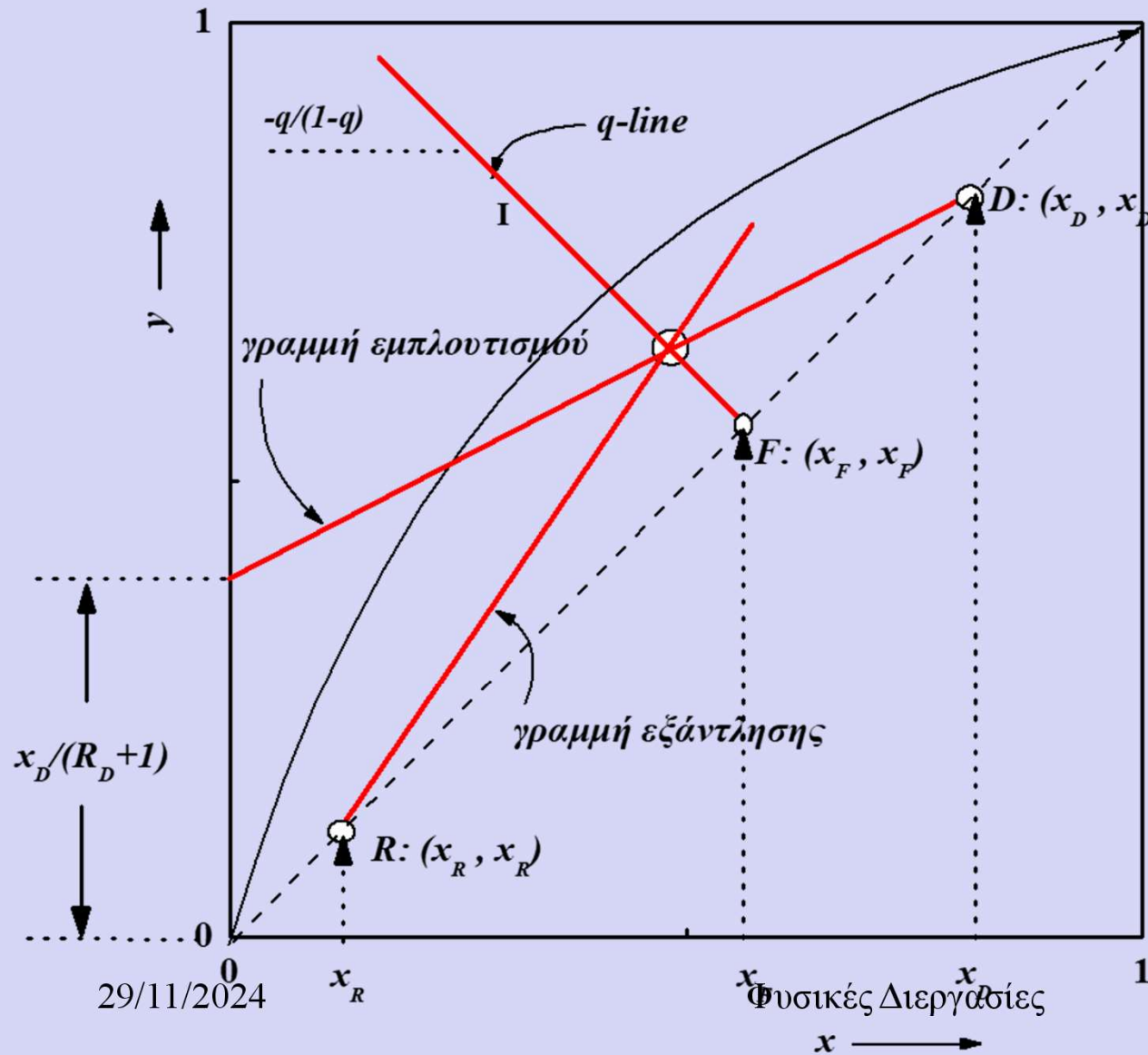
(d): $q = 0$, κορεσμένος ατμός

(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

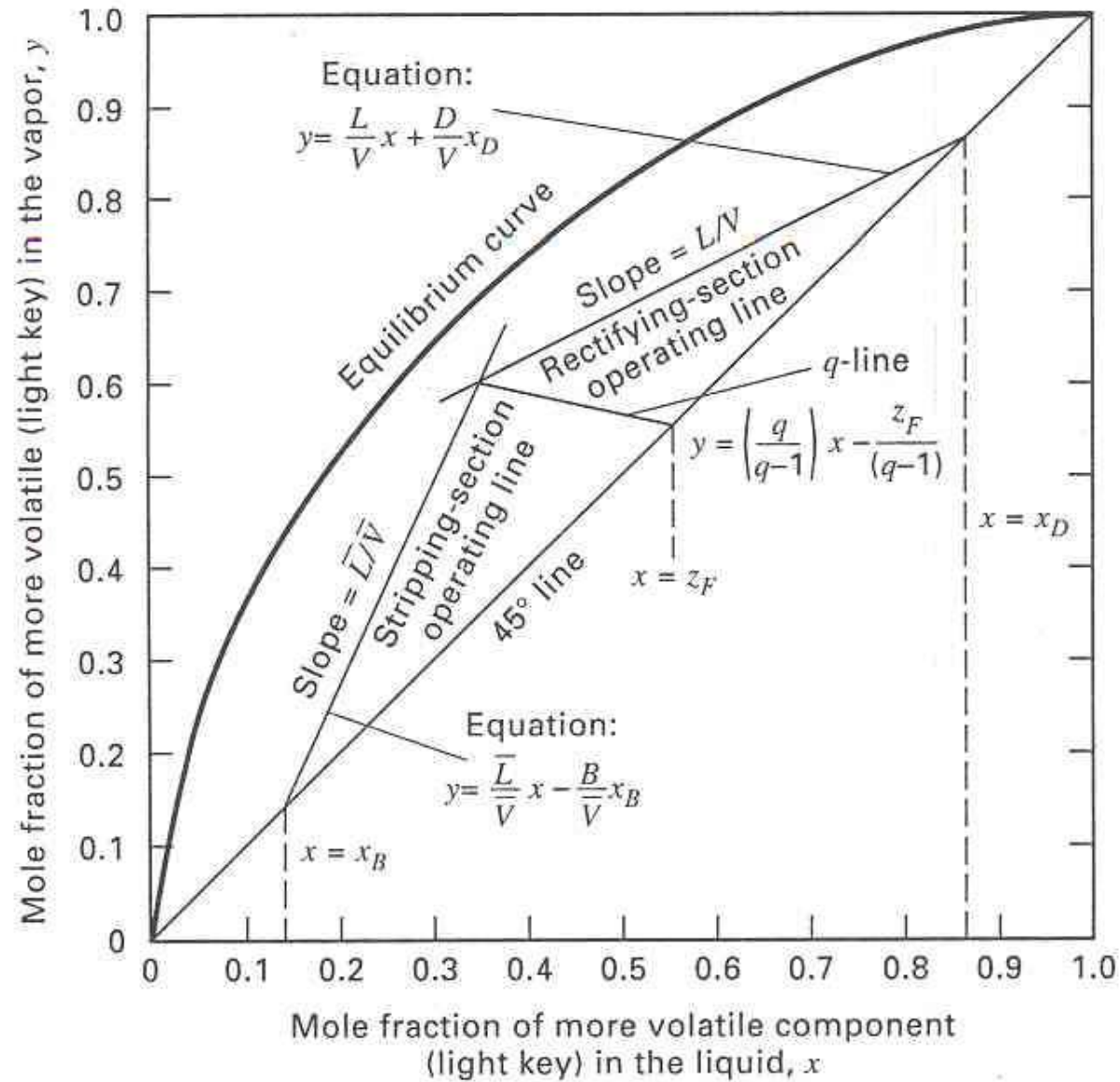
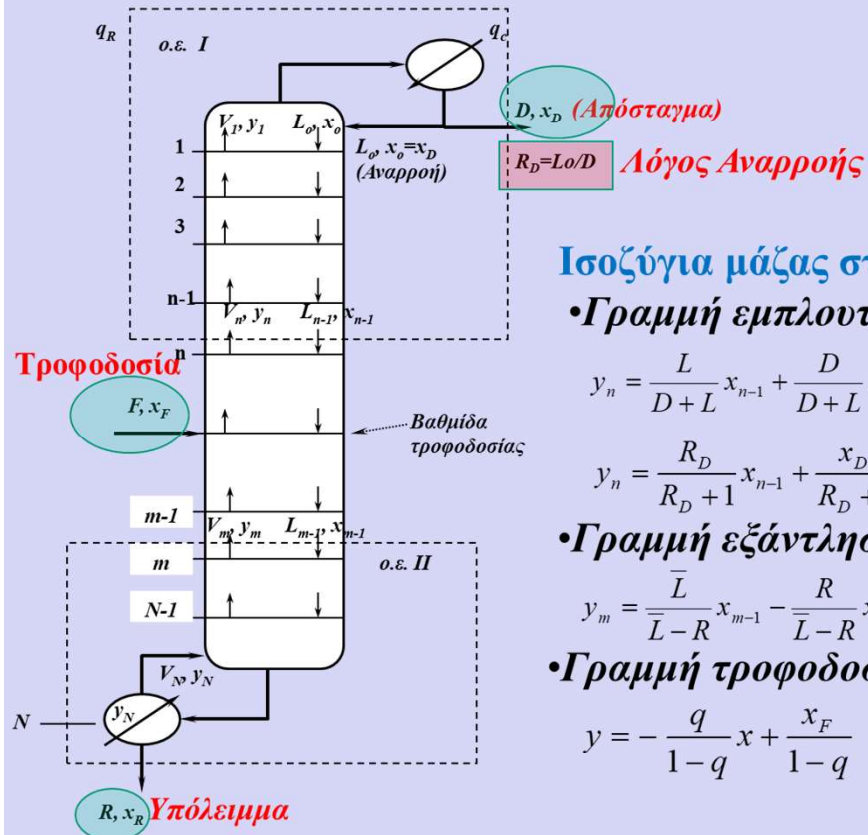


Figure 7.4 Construction lines for McCabe–Thiele method.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης McCabe Thiele

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης



Ισοζύγια μάζας στους Ο.Ε.

• Γραμμή εμπλουτισμού:

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

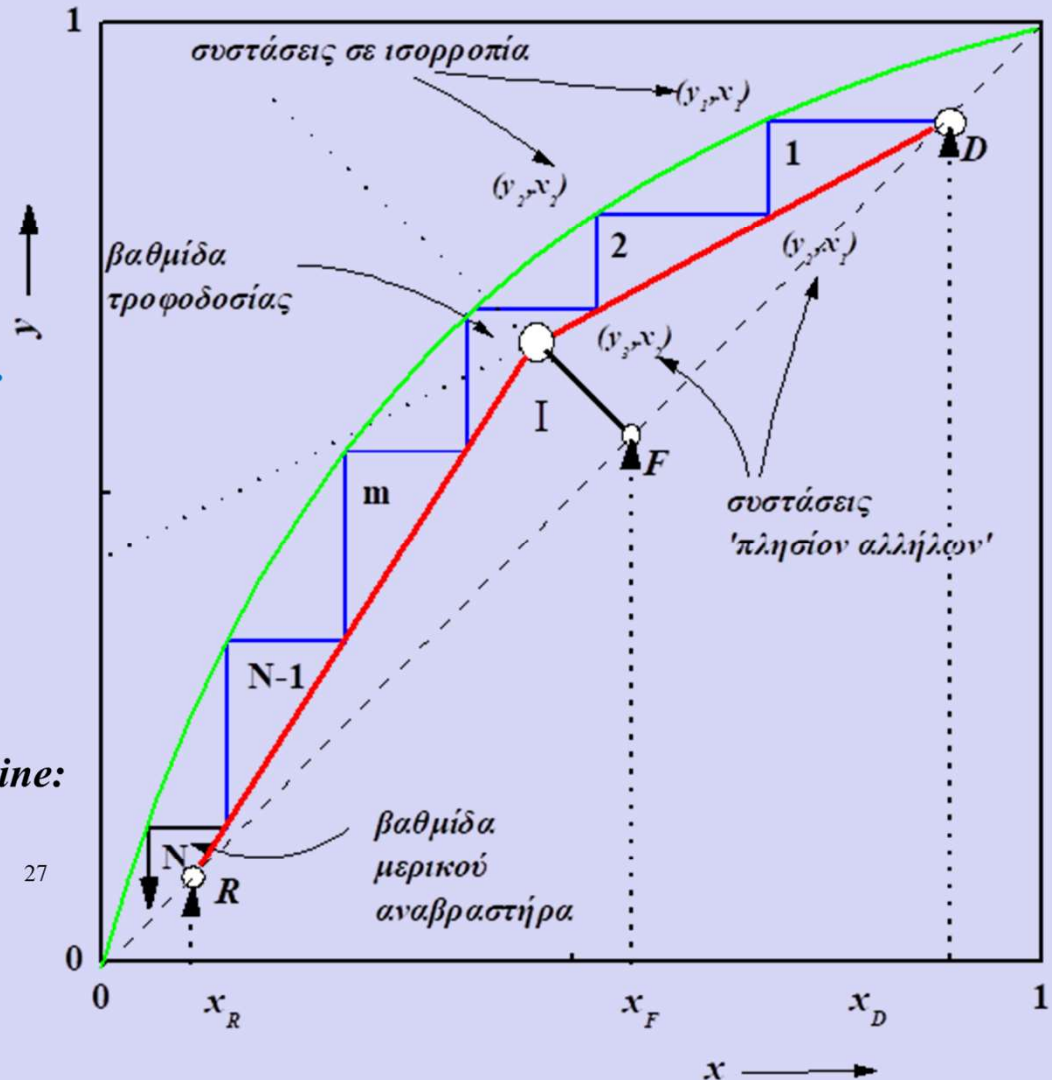
$$y_n = \frac{R_D}{R_D+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D+1}$$

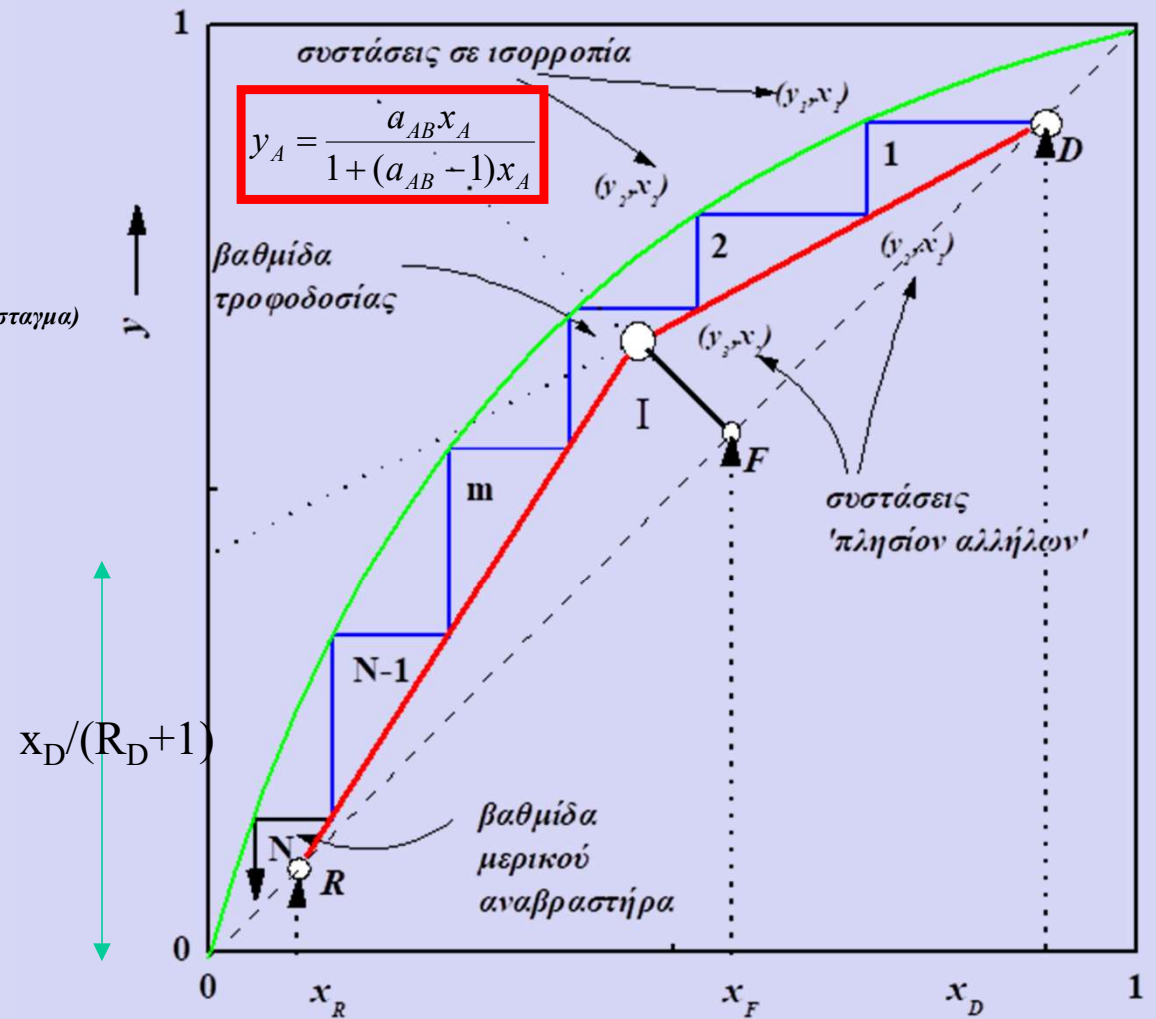
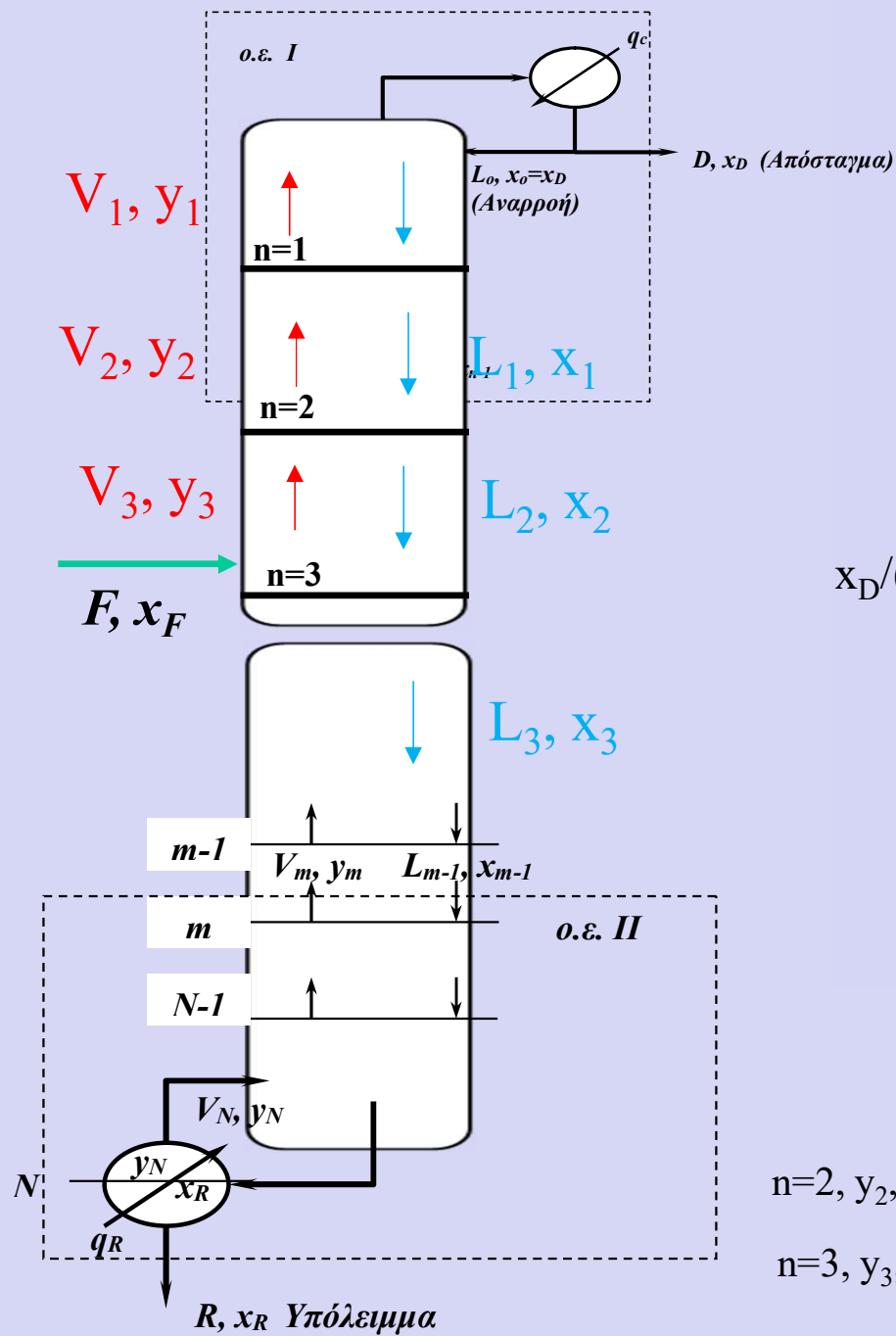
• Γραμμή εξάντλησης:

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

• Γραμμή τροφοδοσίας ή q-line:

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





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

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

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

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

$$y_n = f(x_n)$$

$$y_1 = f(x_1)$$

$$y_2 = f(x_2)$$

$$y_3 = f(x_3)$$


$$y_n = \frac{R_0}{R_0 + 1} \cdot x_{n-1} + \frac{x_0}{R_0 + 1}$$
