

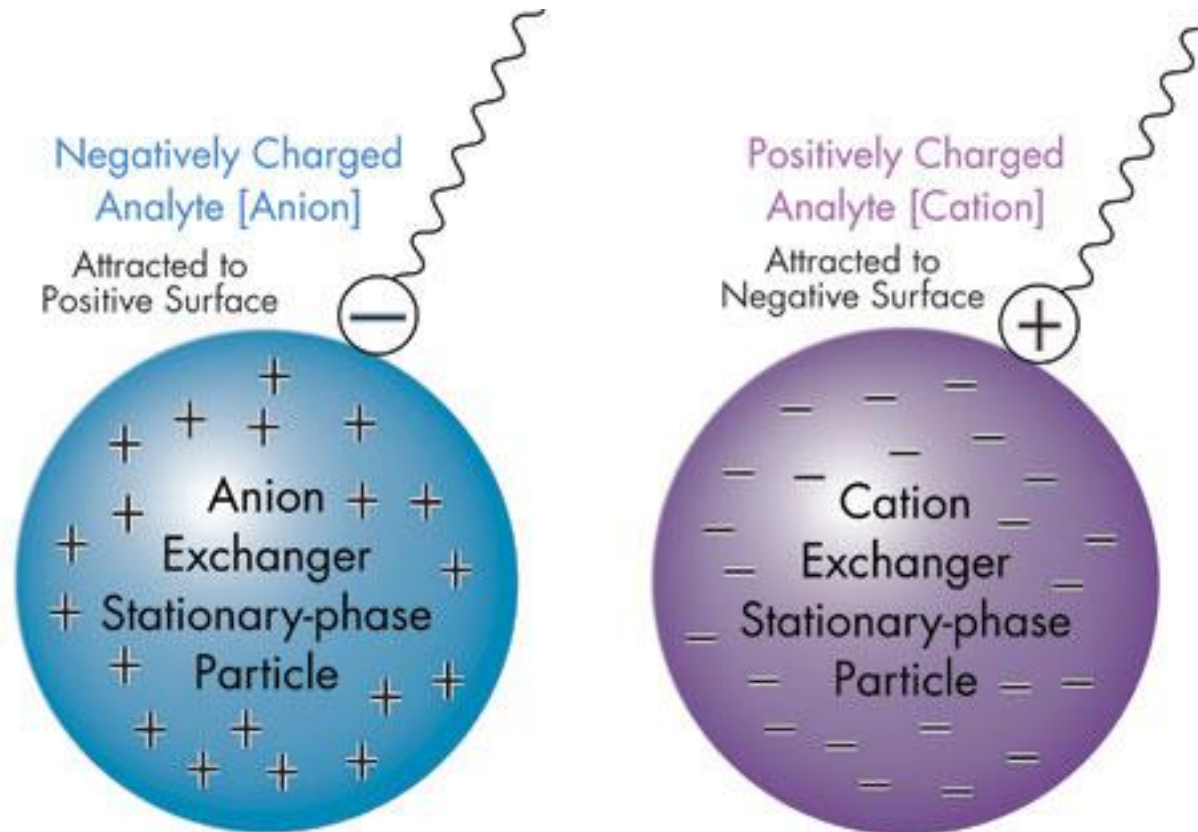
# ΚΕΦ. 16

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ  
ΙΟΝΑΝΤΑΛΛΑΓΗ

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Βασίζεται στην **αμφίδρομη ανταλλαγή ιόντων** μεταξύ μιας εξωτερικής υγρής φάσης και ιοντικών θέσεων μιας στερεής αδιάλυτης φάσης, του **ιονταλλάκτη**.

# Αρχή Ιονανταλλαγής



# Κατηγορίες Ιονανταλλακτών

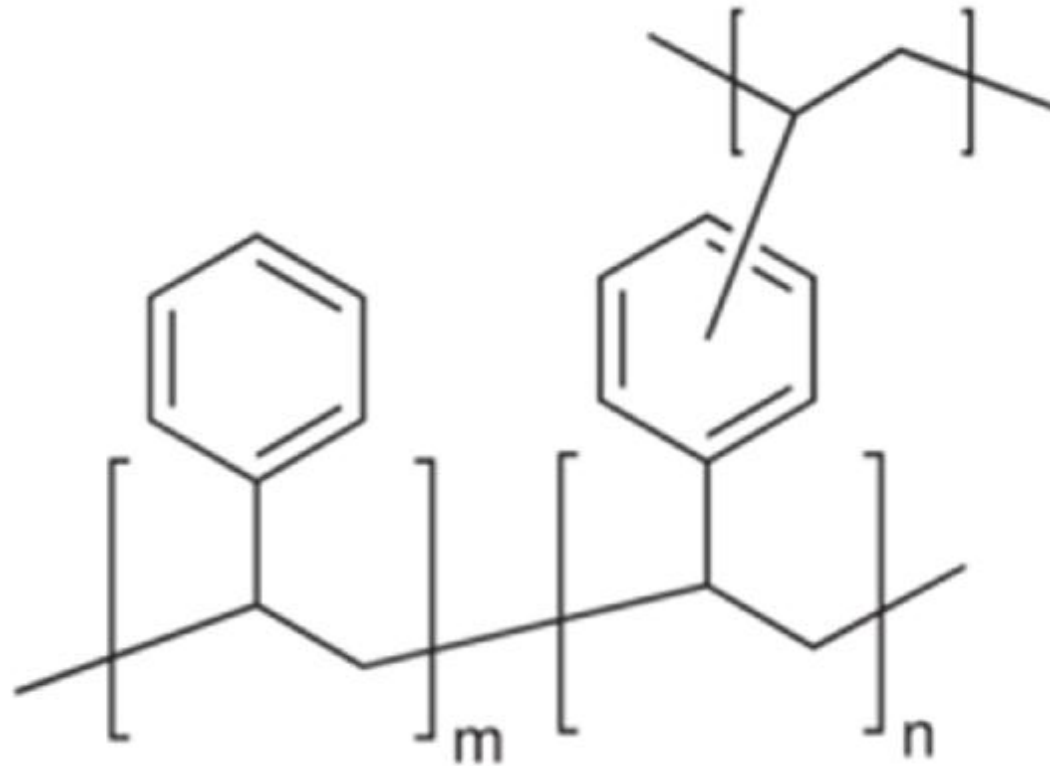
- Ανόργανοι φυσικοί και συνθετικοί ιονανταλλάκτες
  - Ζεόλιθοι (πυριτικά άλατα Al, Ca, Na, K)
  - Άργιλλοι
- Οργανικοί ιονανταλλάκτες φυσικής προέλευσης
- Ιονανταλλάκτες από γαιάνθρακες
- Ιονανταλλακτικές ρητίνες (συνθετικοί οργανικοί ιονανταλλάκτες
  - Η πλέον ενδιαφέρουσα κατηγορία

# Ιονανταλλακτικές Ρητίνες

## Ion exchange resins

- Υψιμοριακές πολυμερείς οργανικές ενώσεις
  - Συνήθως προϊόντα συμπολυμερισμού στυρολίου – διβινυλοβενζολίου
- Αδιάλυτες στο νερό και συνήθεις οργανικούς διαλύτες
- Περιέχουν ιονίσιμες δραστικές ομάδες
  - Κατιοντικές, ανιοντικές

# Συμπολυμερές Στυρολίου - Διβινυλοβενζολίου



# Άλλοι Ιονανταλλάκτες

- Πολυσαγγαρίτες
  - Κυτταρίνη
  - Δεξτράνη (Sephadex)
  - Αγαρόζη (Sepharose)
- Πολυακρυλαμίδιο (με προσθήκη ιονίσιμων ομάδων)
- Ονομάζονται ιονανταλλακτικές πηκτές ή γέλες, γιατί είναι μαλακότερης υφής από τις ρητίνες πολυστυρολίου

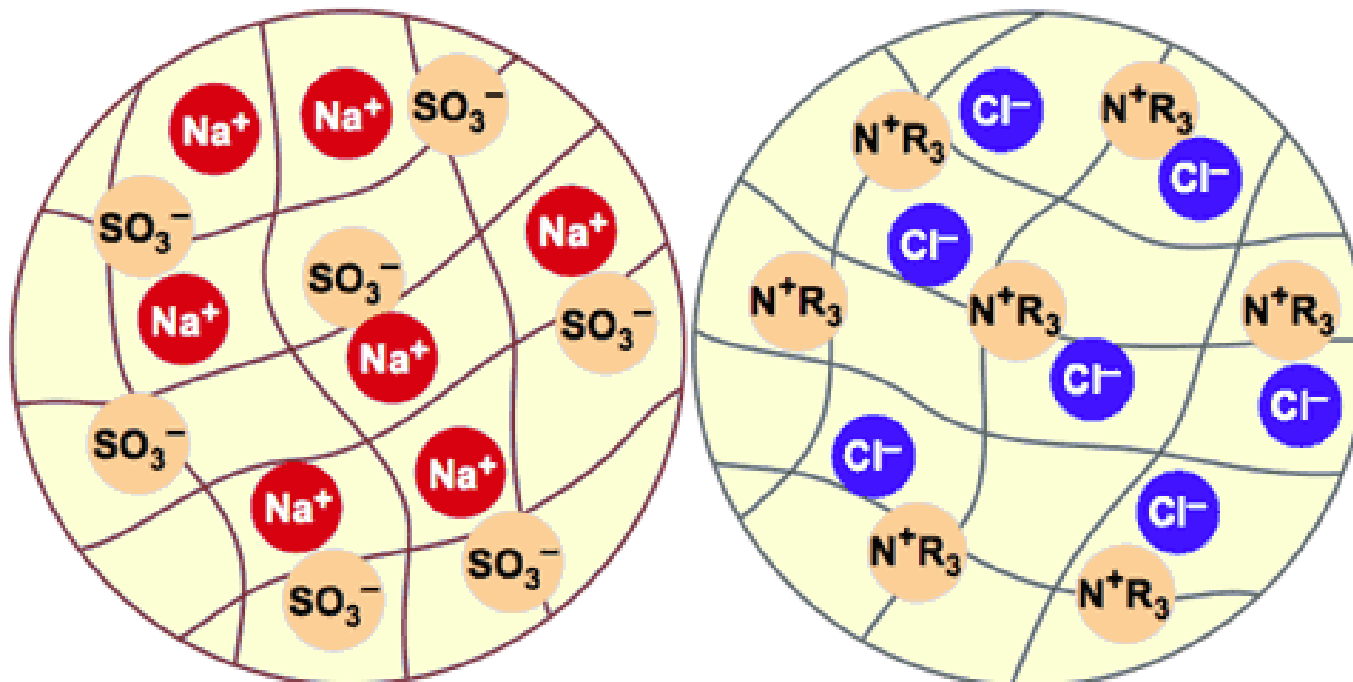
# Μορφή Ιονανταλλακτικής Ρητίνης





# Ιονίσιμες Δραστικές Ομάδες Ιονταλλακτών

- Ιονίζονται προς ιόντα μόνιμα προσκολλημένα στην αλυσίδα του πολυμερούς και προς αντισταθμιστικά ιόντα (counter ions) στην υγρή φάση, που μπορούν να ανταλλάγουν αντιστρεπτά με ιόντα ομώνυμου φορτίου



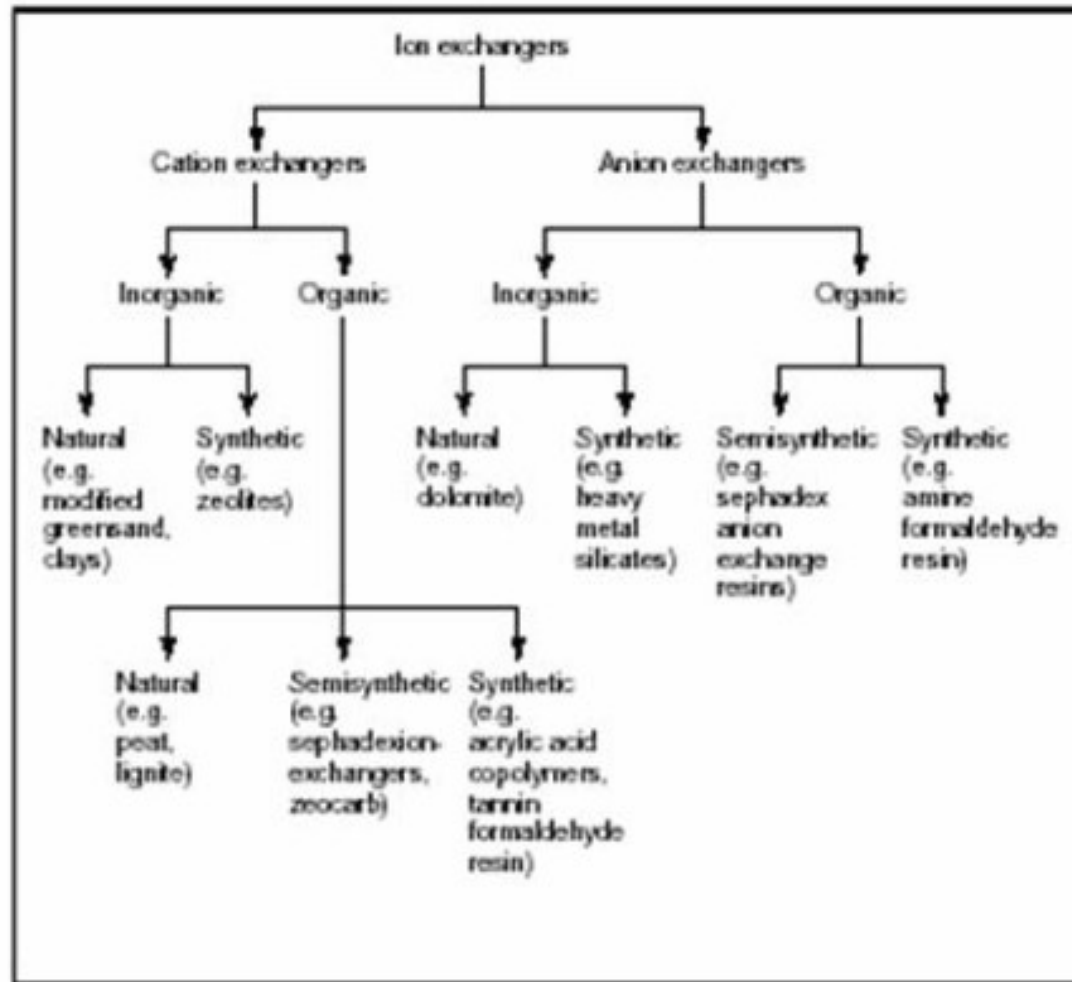
# Τύποι Ιονταλλακτικών Ρητινών (1)

- **Ανάλογα με είδος ιονίσιμων ομάδων**
  - Κατιονανταλλακτικές
    - Με όξινες ομάδες, αρνητικά φορτισμένες, με κατιόντα ικανά να ανταλλάγουν με κατιόντα του διαλύματος
  - Ανιονανταλλακτικές
    - Με βασικές ομάδες, θετικά φορτισμένες, με ανιόντα ικανά να ανταλλάγουν με ανιόντα του διαλύματος

# Τύποι Ιονταλλακτικών Ρητινών (2)

- Με βάση την ισχύ των ιονίσιμων ομάδων (βαθμού ιονισμού)
  - Ισχυρώς όξινες
  - Ασθενώς όξινες
  - Ισχυρώς βασικές
  - Ασθενώς βασικές

# Τύποι Ιονανταλλακτών

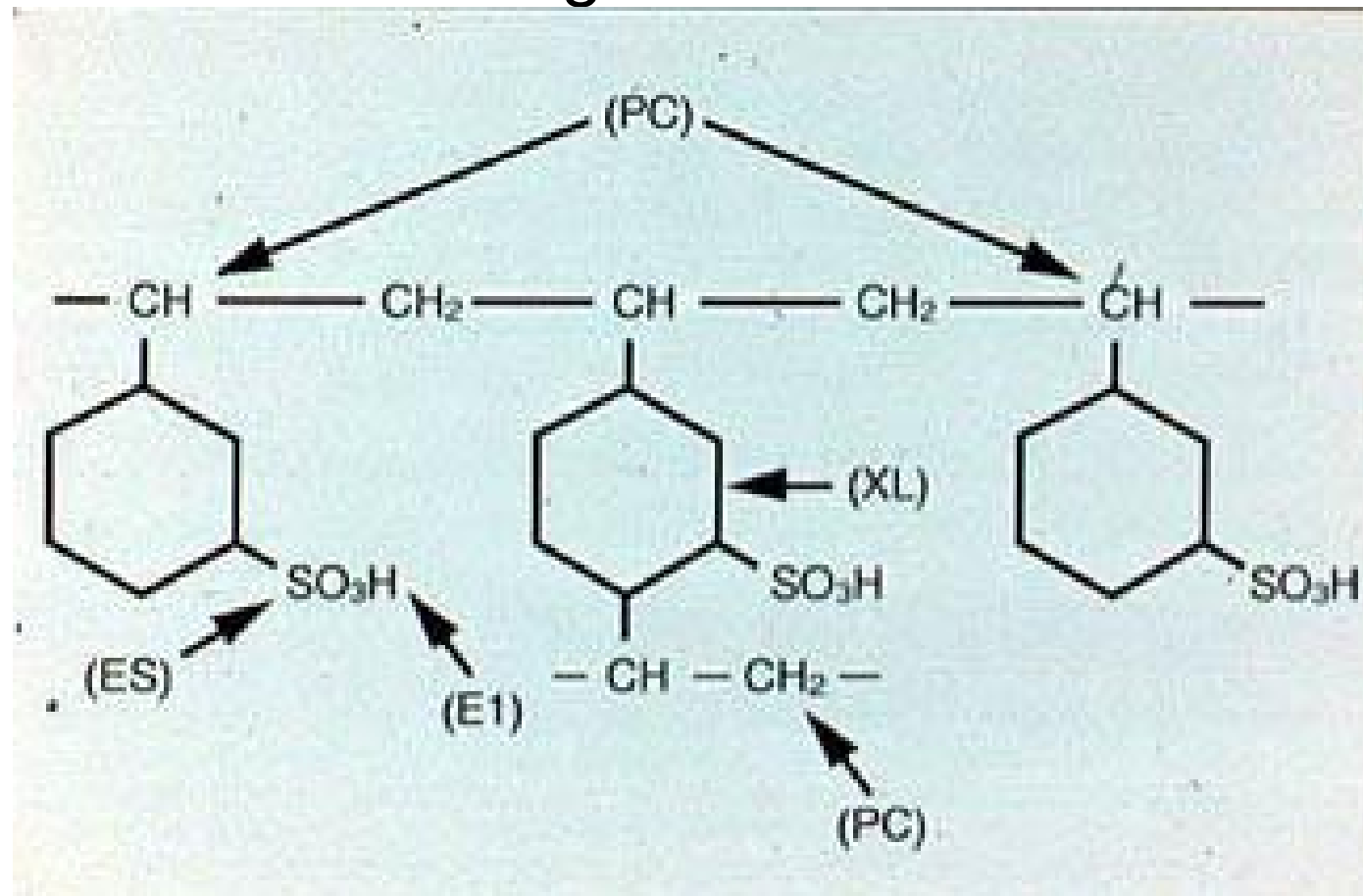


# Ισχυρώς Όξινες Ρητίνες (1)

- Εμπορικά ονόματα: Dowex 50, Amberlite IR-120, Sephadex C-50
- Περιέχουν ομάδες:
  - $\text{SO}_3\text{-H}^+$
  - $\text{PO}(\text{OH})_3$
  - $\text{AsO}(\text{OH})_2$
- Δρουν σε όλη την κλίμακα του pH
- Υπό μορφή οξέος ή άλατος

# Ισχυρώς Όξινη Ιονανταλλακτική Ρητίνη Amberlite IR-120

PC: polymer chain, ES: Exchange Site, EI:  
Exchangable Ion

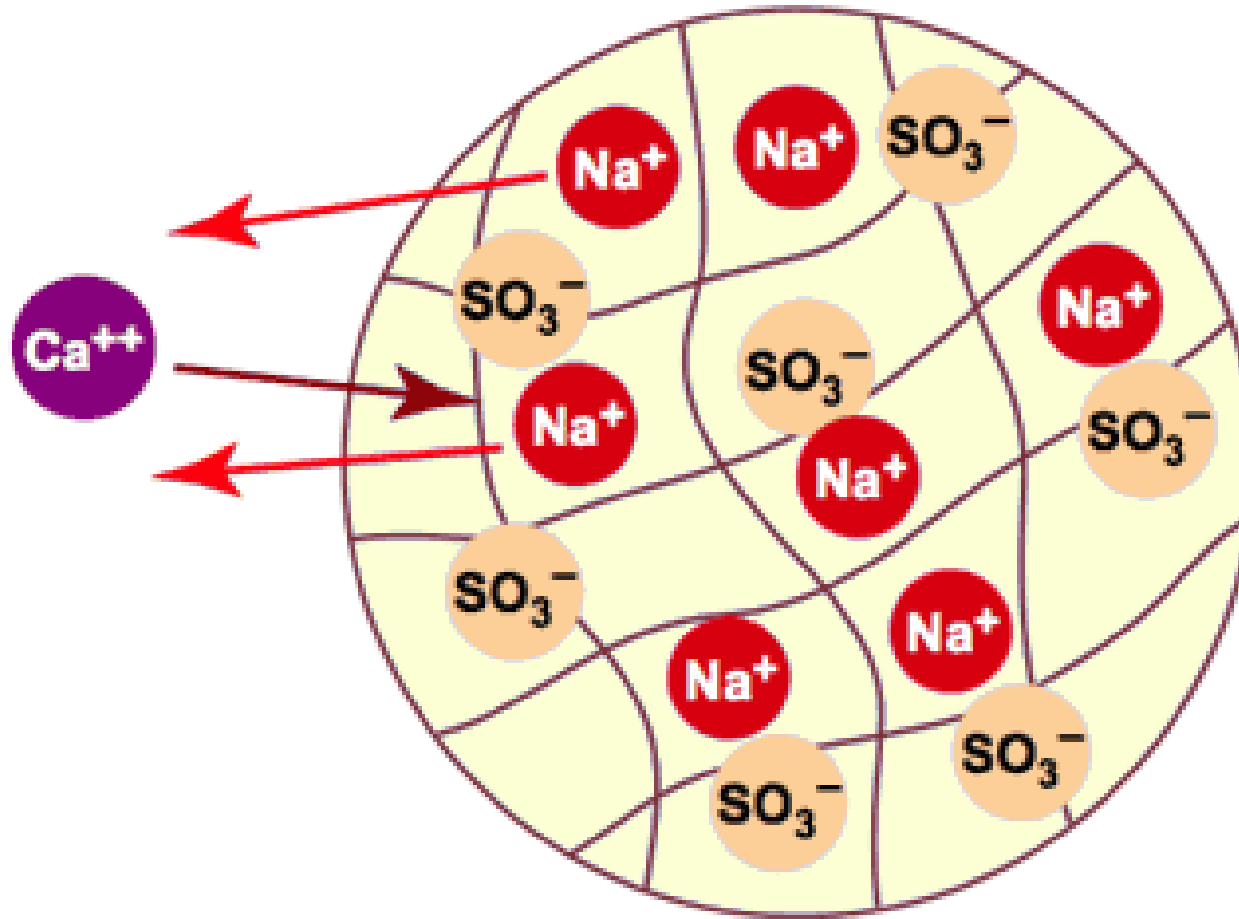


Ισχυρώς Όξινες Ρητίνες (2)  
Παραδείγματα Ιονανταλλαγής

R = αμετάβλητο τμήμα μορίου ρητίνης

- $\text{RSO}_3\text{-H}^+ + \text{Na}^+\text{OH}^- \leftrightarrow \text{RSO}_3\text{-Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{RSO}_3\text{-H}^+ + \text{Na}^+\text{Cl}^- \leftrightarrow \text{RSO}_3\text{-Na}^+ + \text{H}^+\text{Cl}^-$
- $2\text{RSO}_3\text{-Na}^+ + \text{Ca}^{2+}\text{Cl}_2^{2-} \leftrightarrow (\text{RSO}_3^-)_2\text{Ca}^{2+} + 2\text{Na}^+\text{Cl}^-$
- Κατ' εξοχήν χρησιμοποιούμενες  
κατιονανταλλακτικές ρητίνες

Ιονανταλλαγή  $\text{Na}^+$  ισχυρώς όξινης  
ρητίνης από  $\text{Ca}^{2+}$  του διαλύματος





# Ασθενώς Όξιμες Ρητίνες

- Εμπορικά ονόματα:
  - Amberlite IRC-50
  - Sephadex CM C-50
- Περιέχουν ομάδες:  $-COOH$  και  $-OH$  (φαινολικό)
- Χρησιμοποιούνται μόνο σε ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον
- Εκλεκτική δέσμευση κατιόντων ισχυρώς βασικών ουσιών παρουσία ασθενών βάσεων

# Ισχυρώς Βασικές Ρητίνες (1)

- Εμπορικά ονόματα:
  - Dowex 1 ή 2
  - Amberlite IRA-400
- Περιέχουν ισχυρώς βασικές ομάδες τεταρτοταγούς αμμωνίου, π.χ  
$$-N(CH_3)_3^+OH^-$$
- Χρησιμοποιούνται σε όλη την κλίμακα pH
- Για δέσμευση ανιόντων ισχυρών ή ασθενών οξέων και ανταλλαγή ανιόντων

# Ισχυρώς Βασικές Ρητίνες (2)

## Παραδείγματα Ιονανταλλαγής

- $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{OH}^- + \text{H}^+ \text{Cl}^- \leftrightarrow \text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{OH}^- + \text{CH}_3\text{COO}^- \text{H}^+ \leftrightarrow$   
 $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{OH}^- + \text{Na}^+ \text{Cl}^- \leftrightarrow \text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Cl}^- +$   
 $\text{Na}^+ \text{OH}^-$
- $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Cl}^- + \text{Na}^+ \text{NO}_3^- \leftrightarrow \text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{NO}_3^- +$   
 $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$

# Ασθενώς Βασικές Ρητίνες (1)

- Εμπορικά ονόματα:
  - Dowex 3
  - Amberlite IR-45
  - Sephadex DEAE A-50
- Περιέχουν πρωτονιωμένες αμινομάδες:
  - Πρωτοταγείς:  $-\text{NH}_3^+$
  - Δευτεροταγείς:  $-\text{NH}_2\text{CH}_3^+$
  - Τριτοταγείς:  $-\text{NH}(\text{CH}_3)_2^+$

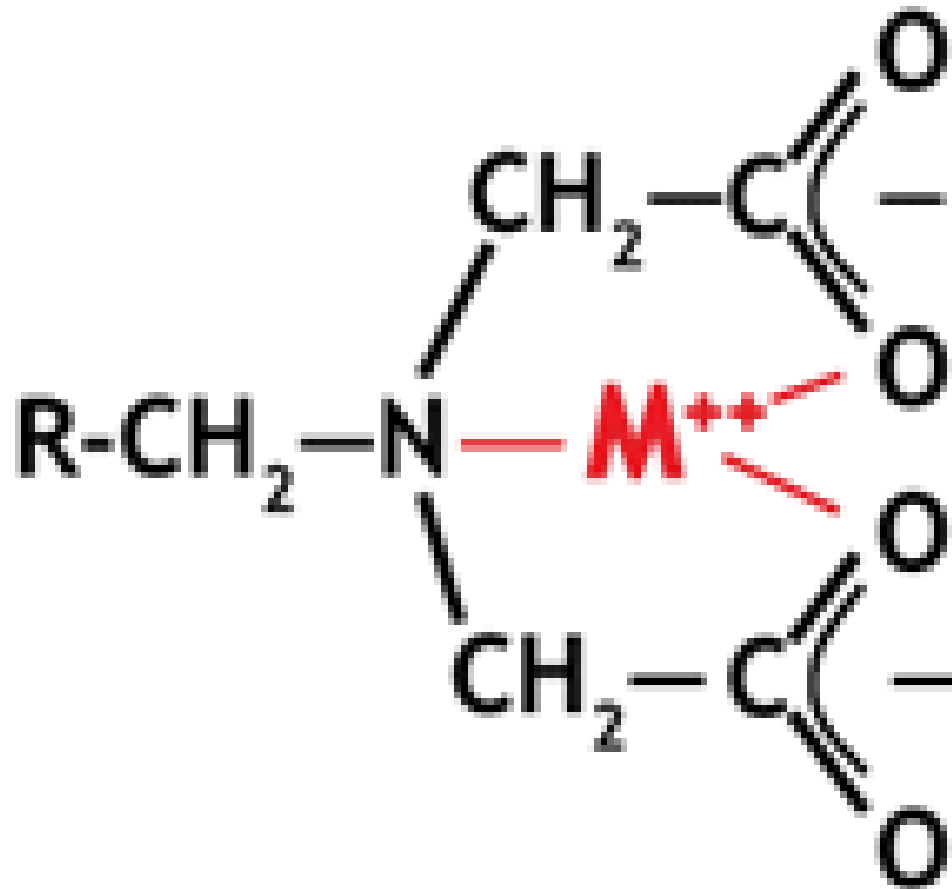
## Ασθενώς Βασικές Ρητίνες (2)

- Δρουν σε όξινο περιβάλλον υπό μορφή άλατος
- Χρησιμοποιούνται για διαχωρισμό ασθενών οξέων από ισχυρά οξέα με κατακράτηση μόνο ανιόντων ισχυρών οξέων
- $\text{RNH}_3^+\text{Cl}^- + \text{R}'\text{SO}_3^-\text{H}^+ \leftrightarrow \text{RNH}_3^+\text{R}'\text{SO}_3^- + \text{H}^+\text{Cl}^-$

# Χηλικές Ρητίνες

- Περιέχουν δραστική ιμινοδιοξική ομάδα  
$$-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$$
- Σχηματίζει χηλικά σύμπλοκα με πολλά κατιόντα

# Σχηματισμός Χηλικού Συμπλόκου



# Ιδιότητες – Συμπεριφορά Ρητινών (1)

- Φύση δραστικών ομάδων
  - Καθορίζει το είδος των ανταλασσόμενων ιόντων
- Αριθμός δραστικών μονάδων
  - Καθορίζει την ανταλλακτική χωρητικότητα
- Ισχύς δραστικών ομάδων
  - Καθορίζει την εκλεκτικότητα



# Ιδιότητες – Συμπεριφορά Ρητινών (2)

- Μέγεθος κόκκων
  - Καθορίζει την ταχύτητα ιονανταλλαγής και διαπερατότητα στήλης από ρητίνη
- Αριθμός διακλαδώσεων
  - Καθορίζει τη συνεκτικότητα, το πορώδες και τη διόγκωση της ρητίνης

## Ανταλλακτική Χωρητικότητα (Exchange Capacity) ή Ικανότητα Συγκράτησης

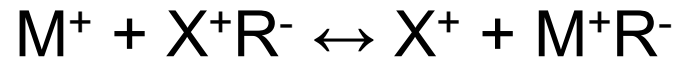
- Μέτρο ικανότητας να συγκρατεί ανταλλάξιμα ιόντα
- Ορίζεται ως ο αριθμός meq ιόντων ( $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $OH^-$ ,  $Cl^-$ , κλπ) ανά μονάδα ξηρής ρητίνης (meq/g) ή ανά μονάδα διογκωμένης με υγρό ρητίνης (meq/mL), τα οποία μπορούν να ανταλλαγούν
- Συνήθεις ρητίνες: 3 – 6 meq/g και 1-2 meq/mL

# Εκλεκτικότητα Ρητίνης (1)

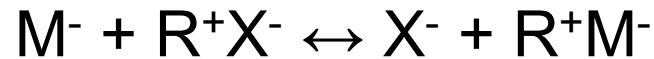
- Παρουσίαση αυξημένης προτίμησης για ένα συγκεκριμένο ιόν σε σχέση με ένα άλλο
- Εκφράζεται με **συντελεστή εκλεκτικότητας**
  - Ισούται με σταθερά ισορροπίας αντίδρασης ιονανταλλαγής ιόντων

# Εκλεκτικότητα Ρητίνης (2)

- Ανταλλαγή κατιόντος:



- Ανταλλαγή ανιόντος



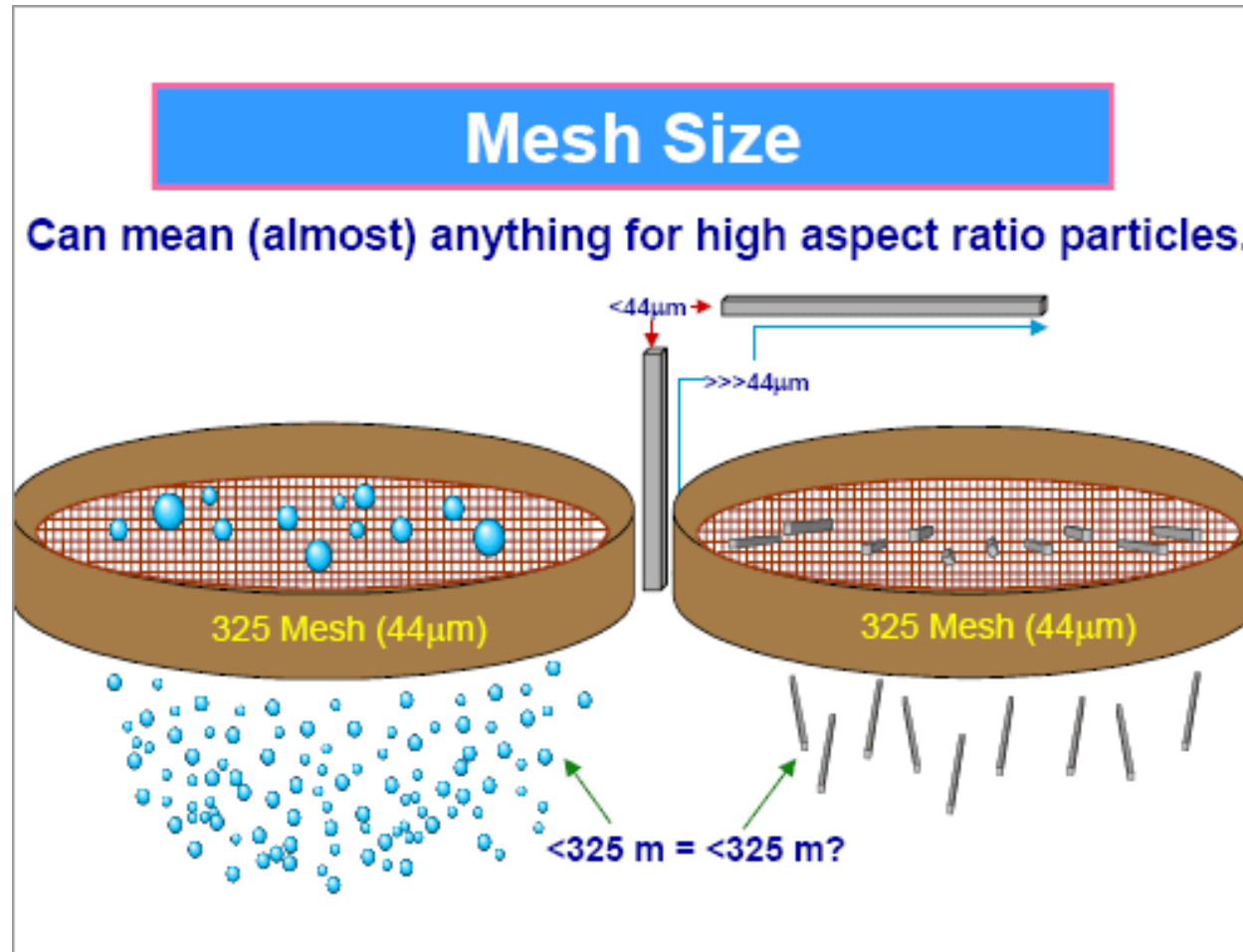
- $[X]$  και  $[M]$  συγκεντρώσεις δύο ομώνυμα φορτισμένων ιόντων στο διάλυμα (meq/mL)
- $[XR]$  ή  $[X]_r$  και  $[MR]$  ή  $[M]_r$  συγκεντρώσεις στη ρητίνη (meq/g)

$$K_X^M = \frac{[X][MR]}{[M][XR]} = \frac{[X][M]_r}{[M][X]_r}$$

# Μέγεθος Κόκκων Ρητίνης

- Πρέπει να είναι αρκετά μικρό
  - Όστε επιφάνεια επαφής μεγάλη
- Όχι πολύ μικρό
  - Όστε η ταχύτητα ροής στη στήλη να μην είναι πολύ μικρή
- Έκφραση
  - mm
  - (Συνηθέστερα) σε μονάδες **mesh** Αμερικανικής Πρότυπης Κλίμακας Κοσκίνων
- mesh: αριθμός οπών ανά ίντσα (κοσκίνου από το οποίο διέρχεται η ρητίνη)
- Αναλυτικές ρητίνες: 50 – 200 mesh

# Έννοια mesh κοσκίνων για έκφραση μεγέθους κόκκων



# Συσχέτιση μονάδων mesh και mm για έκφραση μεγέθους κόκκων

## STANDARD MESH OPENING PARTICLE

| Tyler | U.S. | mm    | inches |   |
|-------|------|-------|--------|---|
| 4     | 4    | 4.75  | 0.187  | ● |
| 6     | 6    | 3.35  | 0.132  | ● |
| 8     | 8    | 2.36  | 0.094  | ● |
| 10    | 12   | 1.70  | 0.066  | ● |
| 12    | 14   | 1.40  | 0.056  | ● |
| 14    | 16   | 1.18  | 0.047  | ● |
| 16    | 18   | 1.00  | 0.039  | ● |
| 20    | 20   | 0.85  | 0.033  | ● |
| 24    | 25   | 0.71  | 0.028  | ● |
| 28    | 30   | 0.60  | 0.023  | ● |
| 32    | 35   | 0.50  | 0.020  | ● |
| 35    | 40   | 0.425 | 0.017  | ● |
| 42    | 45   | 0.355 | 0.014  | ● |
| 48    | 50   | 0.300 | 0.012  | ● |
| 60    | 60   | 0.250 | 0.0098 | ● |
| 65    | 70   | 0.212 | 0.0083 | ● |
| 80    | 80   | 0.180 | 0.0070 | ● |
| 100   | 100  | 0.150 | 0.0059 | ● |
| 115   | 120  | 0.125 | 0.0049 | ● |
| 150   | 140  | 0.106 | 0.0041 | ● |
| 170   | 170  | 0.090 | 0.0035 | ● |
| 200   | 200  | 0.075 | 0.0029 | ● |
| 250   | 230  | 0.063 | 0.0025 | ● |
| 270   | 270  | 0.053 | 0.0021 | ● |
| 325   | 325  | 0.045 | 0.0017 | ● |
| 400   | 400  | 0.038 | 0.0015 | ● |
| —     | 500  | 0.025 | 0.0010 | ● |

# Αριθμός Διακλαδώσεων Ρητίνης (1) (Degree of Cross – Linkage)

- Διακλαδώσεις στο συμπολυμερές μόριο ρητίνης συνήθως συνίσταται από διβινυλοβενζόλιο ή φορμαλδεΰδη
- Αριθμός διακλαδώσεων: εκατοστιαία περιεκτικότητα σε διβινυλοβενζόλιο
- Συνήθως 8-10, σε ρητίνες Dowex δηλώνεται με αριθμό που ακολουθεί το τύπο της ρητίνης. Π.χ. Dowex 50 X8



# Αριθμός Διακλαδώσεων Ρητίνης (2) (Degree of Cross – Linkage)

- Επηρεάζει δραστικά τη συμπεριφορά της ρητίνης
- Αύξηση συνεπάγεται:
  - Αύξηση συνεκτικότητας
  - Μείωση διόγκωσης κατά επαφή με νερό
  - Μείωση πορώδους
  - Μείωση διαλυτότητας ρητίνης
  - Μείωση ταχύτητας ροής δια μέσου στήλης
  - Αύξηση ανταλλακτικής χωρητικότητας
  - Μείωση ταχύτητας ιονανταλλαγής

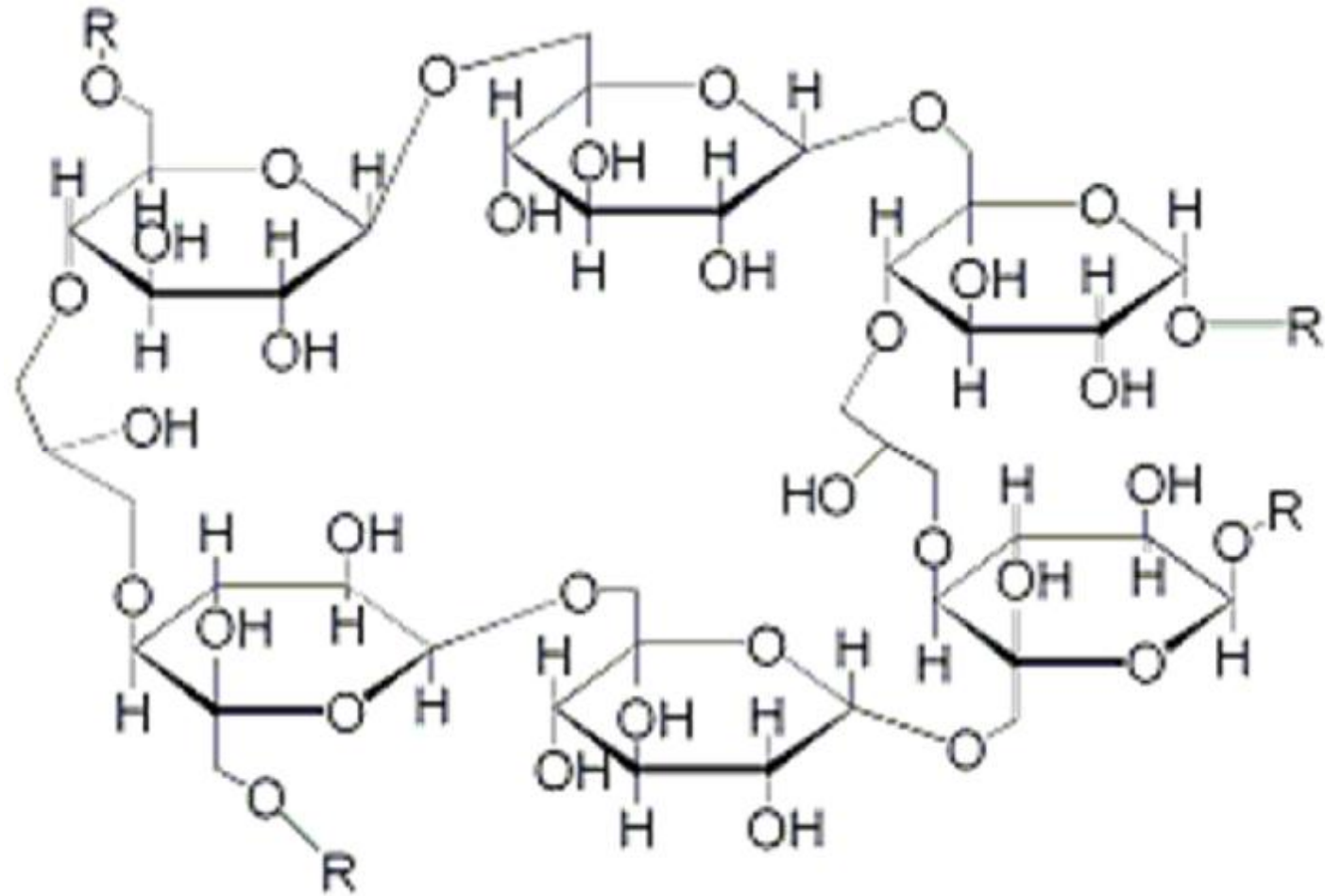
# Αριθμός Διακλαδώσεων Ρητίνης (3) (Degree of Cross – Linkage)

- Ταχύτητα ιονανταλλαγής εξαρτάται:
  - Ταχύτητα διάχυσης ιόντων στο μόριο ρητίνης
- Όσο συνεκτικότερη η ρητίνη (λόγω μεγάλου αριθμού διακλαδώσεων), τόσο δυσκολεύονται τα ιόντα να διεισδύσουν μέσα στο δίκτυο για να βρουν ιόντα να ανταλλάγουν
- Αξιοποίηση για διαχωρισμό ιόντων με διαφορετικές ιοντικές ακτίνες με εκλογή ρητινών με κατάλληλο αριθμό διακλαδώσεων

# Μέγεθος Πόρων

- Μέγεθος πόρων ρητινών πολυστυρολίου περιορίζει τη χρήση σε ιόντα με  $MB < 500$
- Μεγαλύτερα μόρια δεν μπορούν να διαχυθούν μέσα στη ρητίνη
- Ιονανταλλακτικές πηκτές (gels) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερους πόρους και χρησιμοποιούνται για διαχωρισμούς μεγαλομορίων (π.χ. πρωτεΐνες)

# Δομή Ιονανταλλακτικών Πηκτών (Sephadex gels)



# Πίνακας Διαθέσιμων Πηκτών Sephadex με Περιοχή Κλασμάτωσης

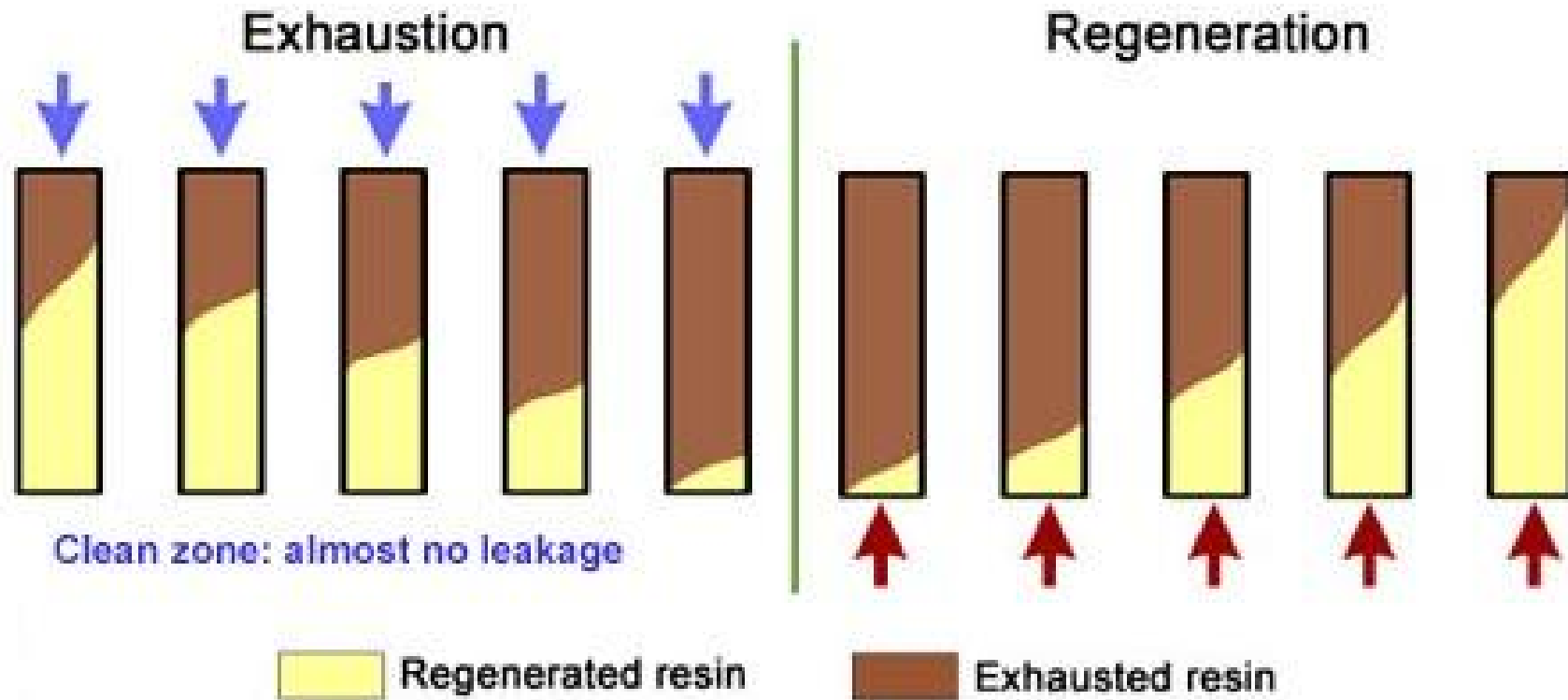
Table 5. Properties of Sephadex.

| Gel type                 | Dry bead size<br>μm | Fractionation<br>range<br>Globular<br>proteins | Fractionation range<br>Dextran | Swelling<br>factor ml/g |
|--------------------------|---------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| Sephadex G-10            | 40 - 120            | - 700  | - 700                          | 2 - 3                   |
| Sephadex G-15            | 40 - 120            | - 1 500  | - 1 500                        | 2.5 - 3.5               |
| Sephadex G-25 Coarse     | 100 - 300           | 1 000 - 5 000                                  | 100 - 5 000                    | 4 - 6                   |
| Sephadex G-25 Medium     | 50 - 150            | 1 000 - 5 000                                  | 100 - 5 000                    | 4 - 6                   |
| Sephadex G-25 Fine       | 20 - 80             | 1 000 - 5 000                                  | 100 - 5 000                    | 4 - 6                   |
| Sephadex G-25 Superfine  | 10 - 40             | 1 000 - 5 000                                  | 100 - 3 000                    | 4 - 6                   |
| Sephadex G-50 Coarse     | 100 - 300           | 1 500 - 30 000                                 | 500 - 10 000                   | 9 - 11                  |
| Sephadex G-50 Medium     | 50 - 150            | 1 500 - 30 000                                 | 500 - 10 000                   | 9 - 11                  |
| Sephadex G-50 Fine       | 20 - 80             | 1 500 - 30 000                                 | 500 - 10 000                   | 9 - 11                  |
| Sephadex G-50 Superfine  | 10 - 40             | 1 500 - 30 000                                 | 500 - 10 000                   | 9 - 11                  |
| Sephadex G-75            | 40 - 120            | 3 000 - 80 000                                 | 1 000 - 50 000                 | 12 - 15                 |
| Sephadex G-75 Superfine  | 10 - 40             | 3 000 - 70 000                                 | 1 000 - 50 000                 | 12 - 15                 |
| Sephadex G-100           | 40 - 120            | 4 000 - 150 000                                | 1 000 - 100 000                | 15 - 20                 |
| Sephadex G-100 Superfine | 10 - 40             | 4 000 - 100 000                                | 1 000 - 100 000                | 15 - 20                 |
| Sephadex G-150           | 40 - 120            | 5 000 - 300 000                                | 1 000 - 150 000                | 20 - 30                 |
| Sephadex G-150 Superfine | 10 - 40             | 5 000 - 150 000                                | 1 000 - 150 000                | 18 - 22                 |
| Sephadex G-200           | 40 - 120            | 5 000 - 600 000                                | 1 000 - 200 000                | 30 - 40                 |
| Sephadex G-200 Superfine | 10 - 40             | 5 000 - 250 000                                | 1 000 - 150 000                | 20 - 25                 |

# Αντιστρεπτότητα Ρητινών

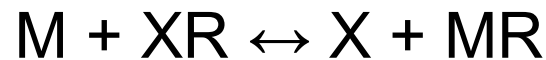
- Ουσιώδες γνώρισμα
- Είναι δυνατή η αναγέννηση και επαναχρησιμοποίησή τους
- Π.χ. Στη στήλη για την αποσκλήρυνση του νερού τα ιόντα  $\text{Na}^+$  της ρητίνης αντικαθίστανται πλήρως από ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ 
  - Η στήλη αναγεννάται με διαβίβαση μέσα από τη στήλη πυκνού διαλύματος  $\text{NaCl}$
  - Χρήση  $\text{NaCl}$  στα πλυντήρια πιάτων

# Αναγέννηση Στηλών Ιονανταλλακτικών Ρητινών



# Συντελεστής Κατανομής $K_D$ ιόντος μεταξύ ρητίνης και διαλύματος

- Για τη γενική αντίδραση ιονανταλλαγής (τα φορτία παραλείπονται χάριν απλότητας)



- Εάν το M σε σχετικά μικρή συγκέντρωση (ποσότητα να μην υπερβαίνει το 5% της ανταλλακτικής χωρητικότητας) ισχύει η σχέση:

$$K_D = \frac{[MR]}{[M]} = \frac{\text{ποσότητα ιόντος στη ρητίνη ανά g ρητίνης}}{\text{ποσότητα ιόντος στο διάλυμα ανά mL διαλύματος}}$$



# Τεχνικές Χρήσεως Ρητινών (1)

- **Τεχνική λουτρού:**
  - Ρητίνη τοποθετείται μαζί με το διάλυμα δείγματος μέσα σε υποδοχέα και αναταράσσεται μέχρι αποκατάστασης ισορροπίας
  - Απομάκρυνση ρητίνης με διήθηση, απόχυση ή φυγοκέντρηση
  - Αναγέννηση και επαναχρησιμοποίηση
  - Πλεονέκτημα η απλότητα
  - Σημασία έχει η εκλεκτικότητα της ρητίνης για το ιόν ή ιόντα του διαλύματος

# Τεχνικές Χρήσεως Ρητινών (2)

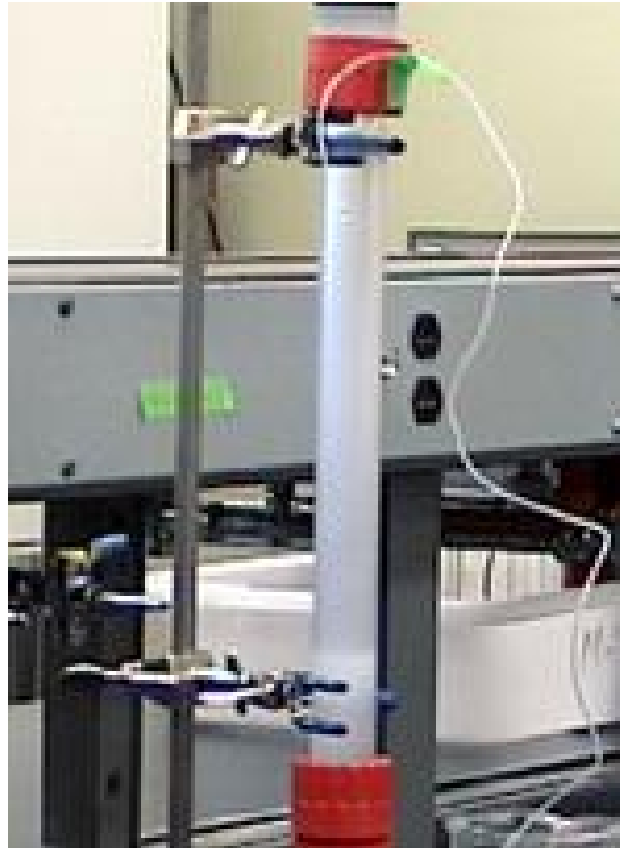
- **Τεχνική στήλης:**
  - Ρητίνη εντός κατακόρυφου σωλήνα με πορώδη πυθμένα
  - Υγρά τροφοδότησης και αναγέννησης της στήλης ρέουν από πάνω προς τα κάτω
  - Συμβαίνουν πολυάριθμες τεχνικές λουτρού στα επάλληλα στρώματα ρητίνης

# Τεχνικές Χρήσεως Ρητινών (3)

- Τεχνική στήλης:

- Ποσοτική ιονανταλλαγή, ανεξάρτητα από εκλεκτικότητα ρητίνης προς συγκεκριμένο ιόν, αρκεί να μην υπερβούμε την ανταλλακτική χωρητικότητα
- Στήλες με ιονανταλλακτικές ρητίνες χρησιμοποιούνται στην εκχύλιση στερεής φάσης και υγροχρωματογραφία

# Τεχνική Στήλης

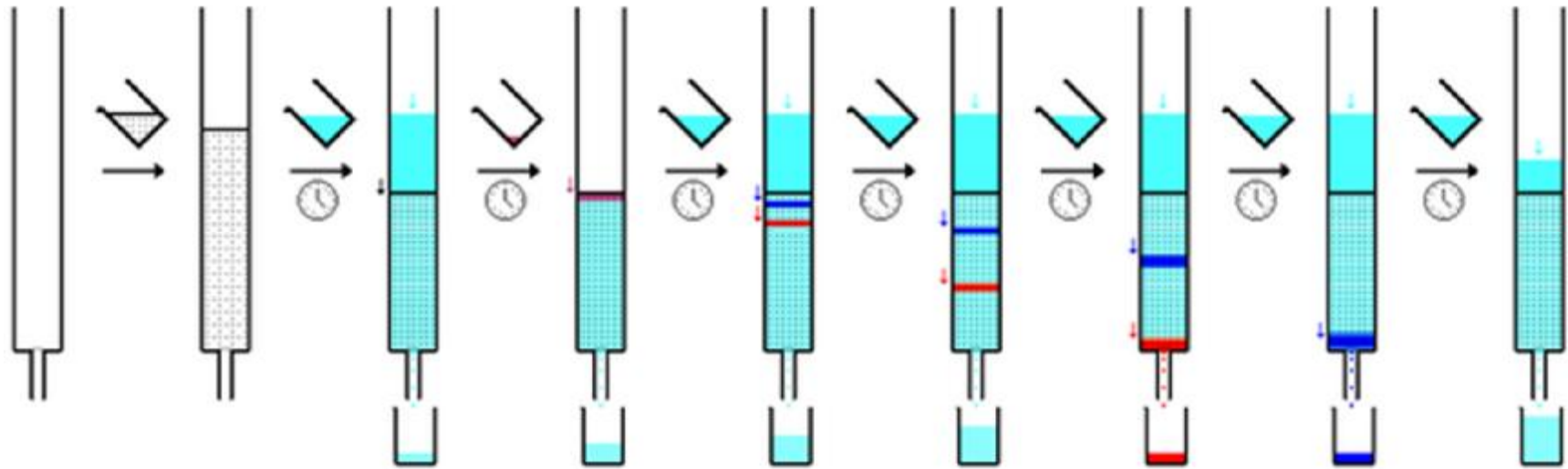


# Στάδια Διαχωρισμού με Τεχνική Στήλης

1. Διαβίβαση διαλύματος του προς διαχωρισμό ουσιών μέσα από τη στήλη
  - Τα ανταλασσόμενα ιόντα κατακρατούνται από τη ρητίνη της στήλης
  - Οι μη ηλεκτρολύτες και τα αντιθέτου φορτίου ιόντα διέρχονται από τη στήλη
2. Έκλυση της στήλης με κατάλληλο διαλύτη
  - Σταδιακή εκτόπιση ιόντων που έχουν κατακρατηθεί
  - Έξοδος ιόντων από τη στήλη σε ξεχωριστά κατά το δυνατόν κλάσματα

# Στάδια διαχωρισμού με στήλη

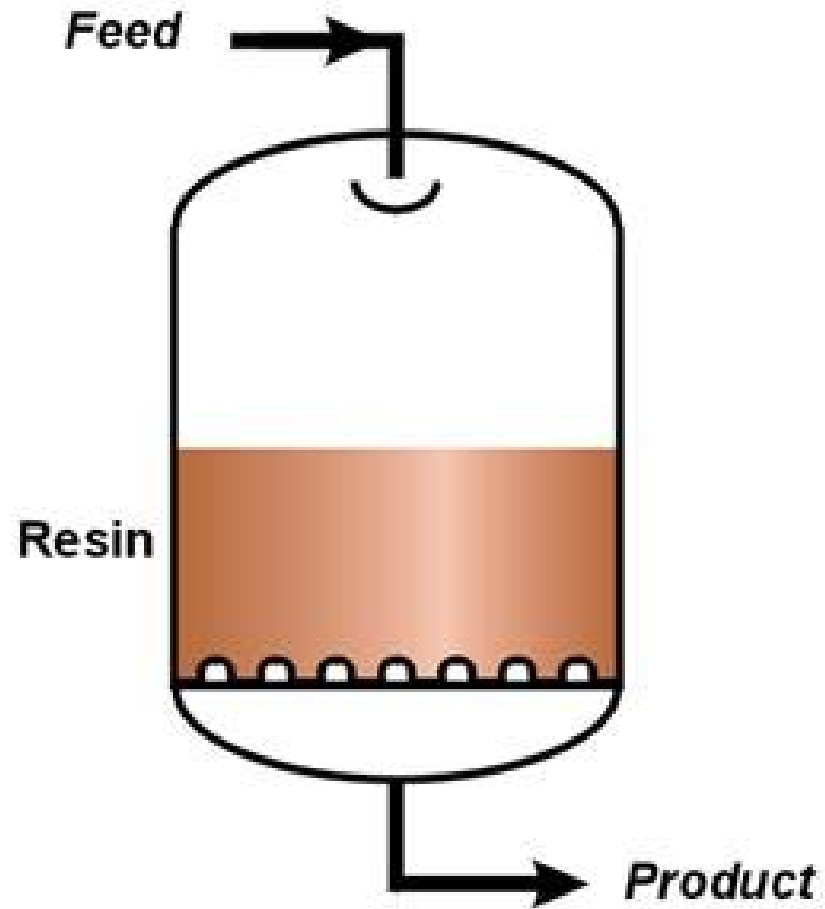
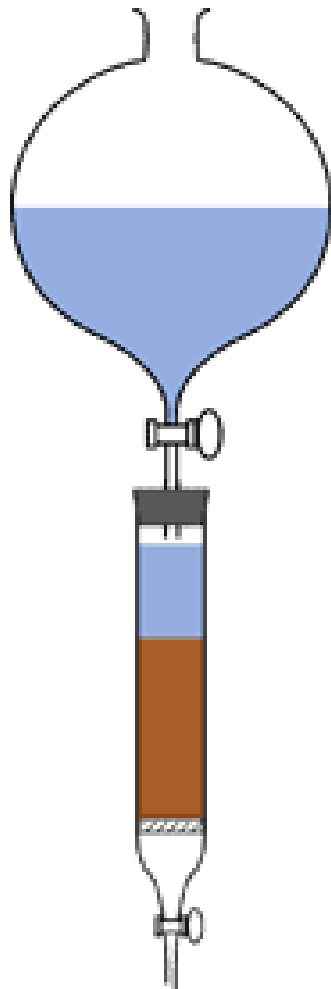
- 1: Τοποθέτηση ρητίνης στη στήλη
- 2: Διαβίβαση υγρού ενεργοποίησης
3. Προσθήκη διαλύματος δείγματος
4. Προσθήκη υγρού για σταδιακή έκλυση ιόντων



# Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (1)

- Ποικίλες εφαρμογές
  - Σε βιομηχανική κλίμακα
  - Σε εργαστηριακή κλίμακα
- Μέγεθος στηλών ποικίλλει:
  - Λίγα  $m^3$  (αναλυτικές στήλες)
  - Πολλά  $m^3$  (παρασκευαστικές στήλες)
- Διάμετρος στήλης εξαρτάται από
  - Ποσότητα κατεργαζόμενης ύλης
- Μήκος στήλης εξαρτάται από
  - Δυσκολία εκτελούμενων διαχωρισμών

# Εργαστηριακή (αριστερά) και Βιομηχανική (δεξιά) Χρήση Ρητινών





# Στήλες Ρητινών για Εργαστηριακή Χρήση



# Βιομηχανική Χρήση Ρητινών



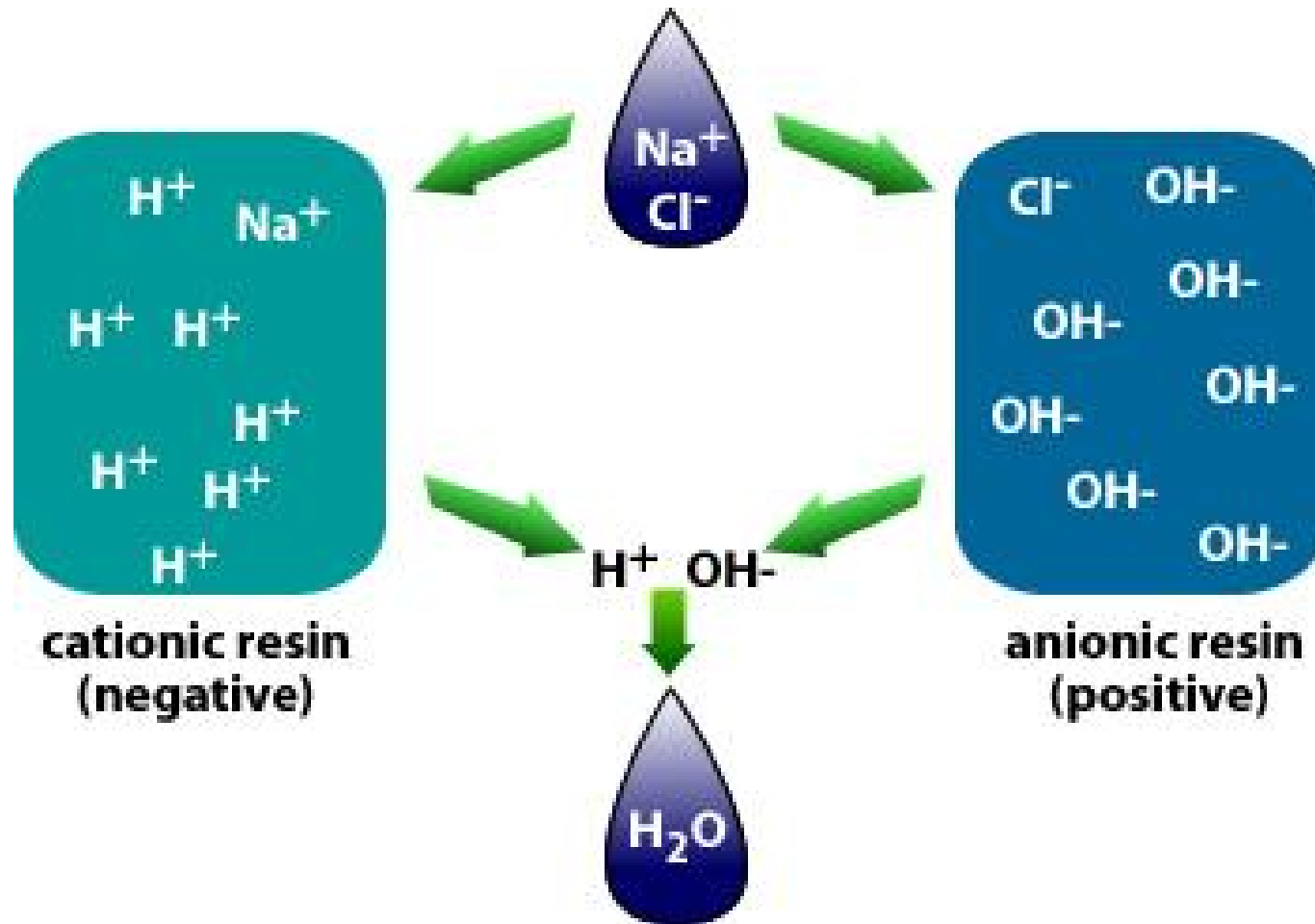
## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (2)

### Απιονισμός Ύδατος

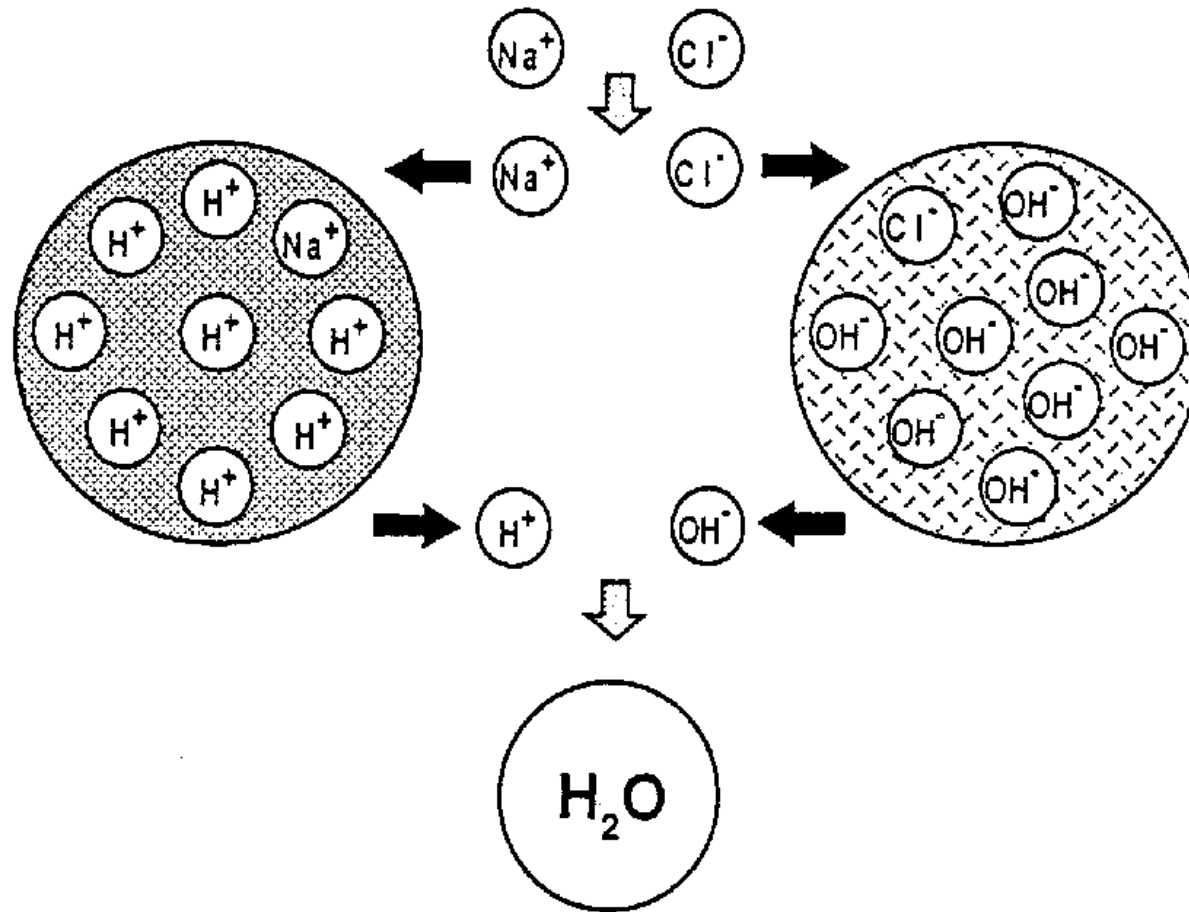
(λήψη απιονισμένου ύδατος)

- Διαβίβαση φυσικού νερού διαδοχικά μέσα από κατιονανταλλακτική και ανιονανταλλακτική ρητίνη ή μέσα από μείγμα τους, που βρίσκονται υπό μορφή  $H^+$  και  $OH^-$ , πετυχαίνεται πλήρης απομάκρυνση των ιόντων του.
- Απιονισμένο νερό (deionised water) χρησιμοποιείται ευρύτατα αντί του απεσταγμένου νερού
- Το απιονισμένο νερό δεν είναι απαλλαγμένο οργανικών ενώσεων.

# Πορεία Απιονισμού Ύδατος



# Απιονισμός Ύδατος

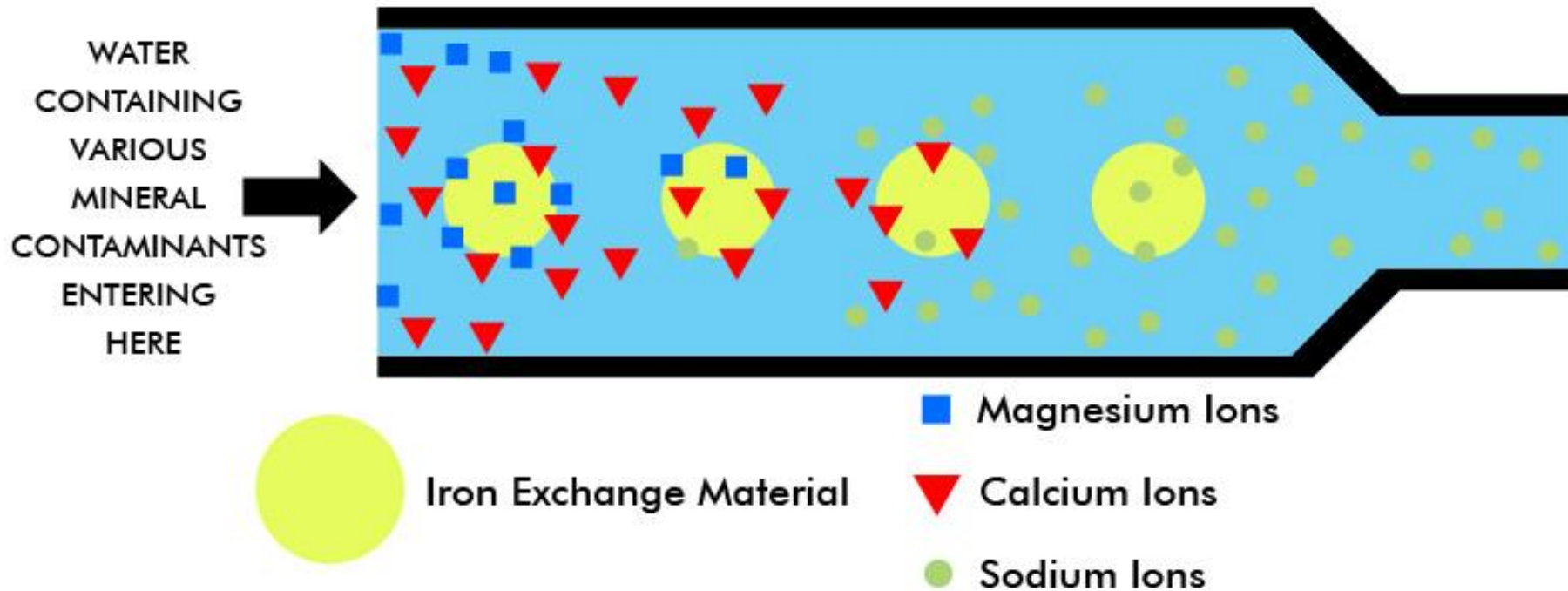


## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (3)

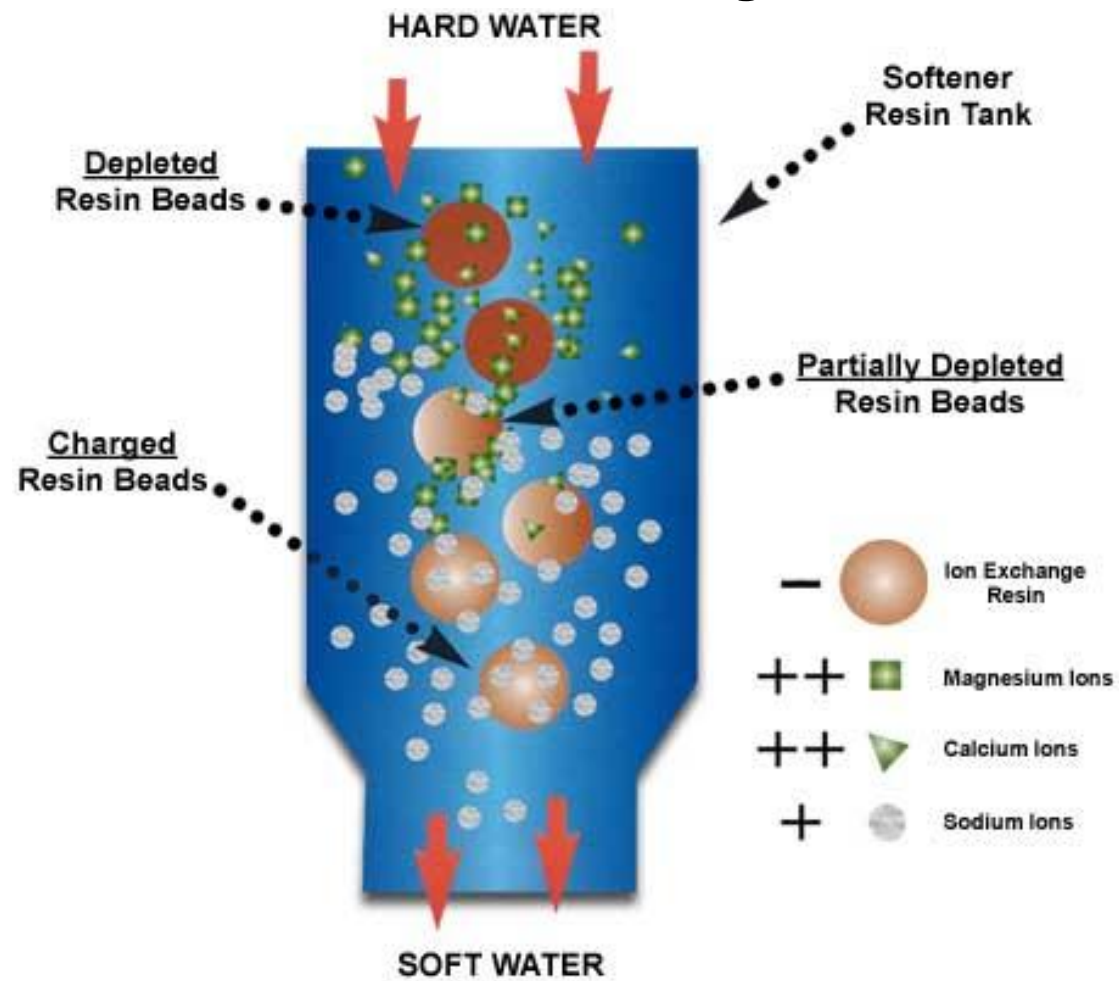
### Αποσκλήρυνση Ύδατος

- Ύδατα υψηλής σκληρότητας διαβιβάζονται μέσα από κατιονανταλλακτική ρητίνη με μορφή ιόντων  $\text{Na}^+$
- Τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  ανταλλάσσονται με ιόντα  $\text{Na}^+$

# Πορεία Αποσκλήρυνσης Ύδατος



# Διαδικασία Αποσκλήρυνσης Ύδατος





## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (4)

### Απομάκρυνση Παρεμποδιζόντων Ιόντων και Μη Ηλεκτρολυτών

- Συνήθως ενδιαφέρει ο διαχωρισμός κατιόντων από παρεμποδίζοντα ανιόντα ή ανιόντων από παρεμποδίζοντα κατιόντα
- Παραδείγματα:
  1. Απομάκρυνση φωσφορικών ιόντων με ανιονανταλλακτική ρητίνη, πριν από συμπλοκομετρική ογκομέτρηση  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  με EDTA

## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (5)

### Απομάκρυνση Παρεμποδιζόντων Ιόντων και Μη Ηλεκτρολυτών

2. Απομάκρυνση με κατιονανταλλακτική ρητίνη  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  που παρεμποδίζουν τον προσδιορισμό φωσφορικών
3. Απομάκρυνση ιχνών βαρέων μετάλλων (Fe, Co, Zn) με χηλικές ρητίνες από πυκνά διαλύματα αλάτων αλκαλίων και αλκαλικών γαιών

## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (6)

### Απομάκρυνση Παρεμποδιζόντων Ιόντων και Μη Ηλεκτρολυτών

- Σημαντική εφαρμογή ο διαχωρισμός ιόντων από μη ηλεκτρολύτες
  - Χρήση στη φαρμακευτική ανάλυση για διαχωρισμό ιοντικών δραστικών από έκδοχα
    - μη ηλεκτρολύτες
  - Παράδειγμα: κατιοντική βιταμίνη B<sub>1</sub> διαχωρίζεται από παρεμποδίζουσες μη ιοντικές ουσίες που βρίσκονται σε δείγμα ζύμης, με κατιονανταλλακτική ρητίνη

# Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (7)

## Διαχωρισμοί

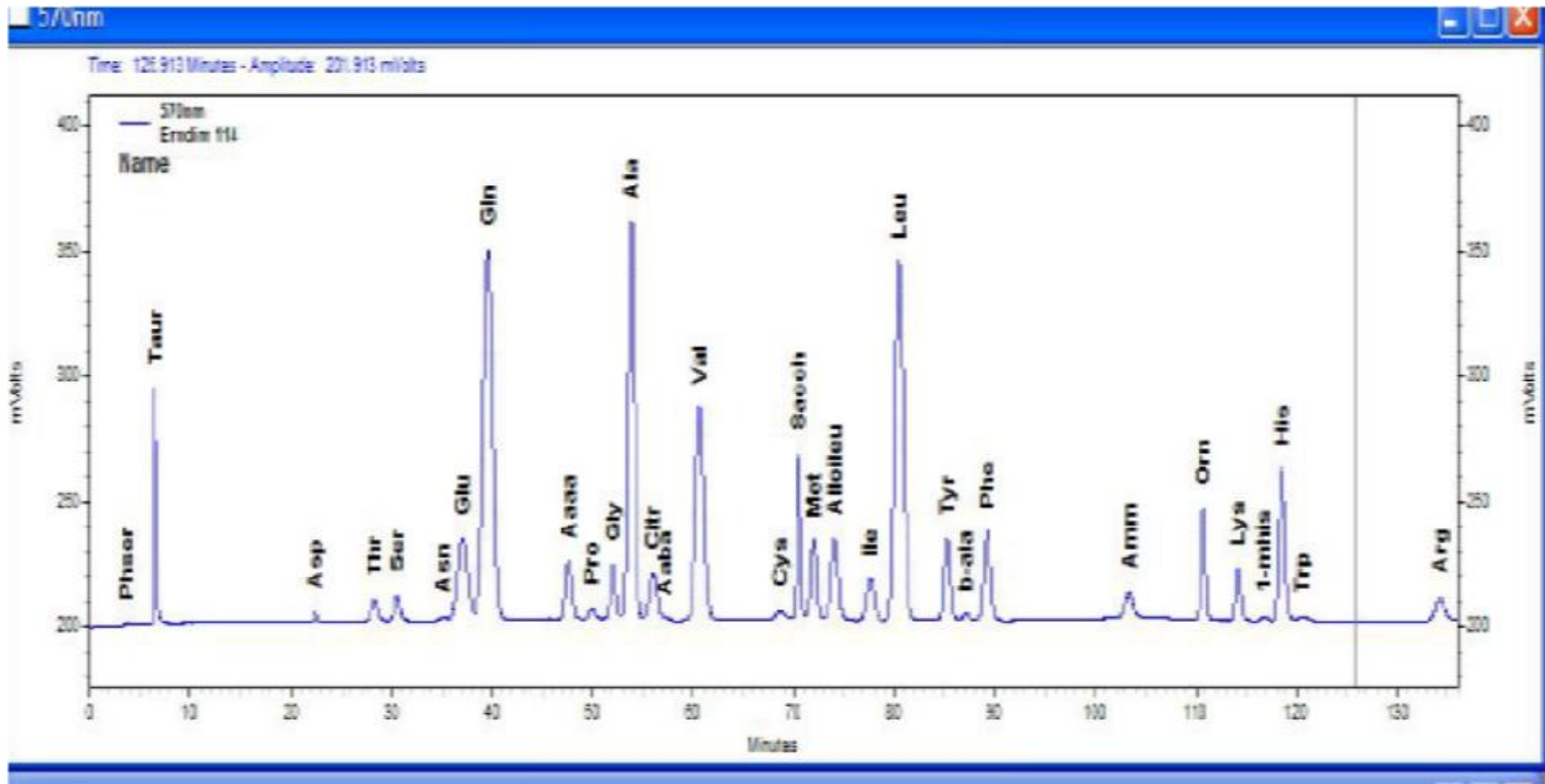
- Σπουδαιότερη εφαρμογή ιονανταλλαγής οι αναλυτικοί διαχωρισμοί ανοργάνων και οργανικών ιόντων
- Κατάλληλη επιλογή:
  - Ιονανταλλακτικής ρητίνης,
  - Υγρού έκλουσης
  - Πειραματικών συνθηκών (pH, θερμοκρασία, μήκος στήλης)

## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (8)

### Διαχωρισμοί

- Αξιοποίηση με ανάπτυξη της υδροχρωματογραφίας ιονανταλλαγής
- Σημαντικότερη εφαρμογή η ανάλυση μείγματος αμινοξέων με κατιονανταλλακτική ρητίνη και βαθμιαία αύξηση του pH στο υγρό έκλουσης

# Χρωματογράφημα Διαχωρισμού Αμινοξέων



# Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (9)

## Διαχωρισμοί Μεταλλοϊόντων

- Διαχωρίζονται με μορφή:
  - Εφυδατωμένων κατιόντων με κατιονανταλλακτική ρητίνη
  - Ανιοντικών συμπλόκων με ανιονανταλλακτική ρητίνη
- Παράδειγμα: Μείγμα Ni(II), Mn(II), Co(II), Cu(II), Fe(III), Zn(II) διαχωρίζεται σε ανιονανταλλακτική ρητίνη με μεταβολή συγκέντρωσης HCl στο υγρό έκλουσης (σχηματίζονται χλωρισύμπλοκα)

# Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (10)

## Διαχωρισμοί Μεταλλοϊόντων

- Παράδειγμα: Διαχωρισμός σπανίων γαιών με ιονανταλλαγή βάσει της διαφοροποίησης των συντελεστών κατανομής συμπλόκων με EDTA



## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (11) Διαχωρισμοί Οργανικών Ουσιών

- Παράδειγμα: Διαχωρισμός σακχάρων και παρόμοιων *cis*-πολυυδροξυλιωμένων ενώσεων (μαννίτης, σορβίτης) με ανιονανταλλακτική ρητίνη μετά από σχηματισμό ανιόντων με βορικά

## Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (12)

### Συμπύκνωση Αραιών Ηλεκτρολυτών και Ανάληψη Ιχνοστοιχείων

- Χρησιμοποιούνται ρητίνες για τη συμπύκνωση, απομόνωση και ανάληψη διαφόρων ιοντικών συστατικών, που βρίσκονται σε ίχνη σε αραιά διαλύματα
- Μεγάλοι όγκοι του αραιού διαλύματος διαβιβάζονται μέσα από τη ρητίνη που στη συνέχεια εκκλύονται με μικρούς όγκους υγρού

# Εφαρμογές Ιονανταλλαγής (13)

## Στοιχειομετρικές Αντικαταστάσεις

- Συχνά ενδιαφέρει ο προσδιορισμός **ολικής συγκέντρωσης κατιόντων** ενός διαλύματος
- Διαβίβαση του διαλύματος δείγματος μέσα από στήλη ισχυρά όξινης ρητίνης στη μορφή  $H^+$
- Κατακρατούνται τα ιόντα στη ρητίνη με σύγχρονη απελευθέρωση ισοδύναμης ποσότητας  $H^+$  στο έκλουσμα
- Ογκομετρείται το έκλουσμα και τα υγρά έκπλυσης με πρότυπο διάλυμα  $NaOH$
- Ανάλογα μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός ολικής περιεκτικότητας ανιόντων με χρήση ισχυρά βασικής ανιονανταλλακτικής ρητίνης και ογκομέτρηση του εκλούσματος με πρότυπο διάλυμα  $HCl$