

## 1<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση:

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ: ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΚΕΤΥΛΟΣΑΛΙΚΥΛΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

#### 1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

#### 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ<sup>1</sup>

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι ο έλεγχος της περιεκτικότητας δισκίων ασπιρίνης σε ακετυλοσαλικυλικό οξύ.

Η ποιότητα των **πρώτων υλών** που χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία καθορίζει την ποιότητα, αλλά και το κόστος παραγωγής των τελικών βιομηχανικών προϊόντων. Για το λόγο αυτό, ο **έλεγχος της ποιότητας** των πρώτων υλών<sup>2</sup> της χημικής βιομηχανίας έχει εξαιρετική σημασία.

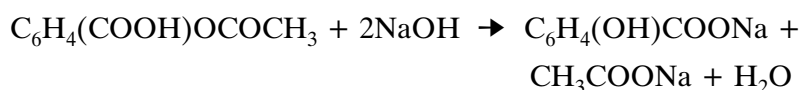
Το **ακετυλοσαλικυλικό οξύ** ( $C_9H_8O_4$ ) είναι η πρώτη ύλη για την παρασκευή των γνωστών δισκίων ασπιρίνης (φάρμακο με ισχυρή αντιπυρετική, αναλγητική και αντιφλεγμονώδη δράση, το οποίο, σε μικρές δόσεις, έχει αποδειχτεί ότι δρα και ως προληπτικό θρομβωτικών επεισοδίων). Ένας από τους σημαντικότερους ελέγχους ποιότητας της πρώτης ύλης, ο οποίος πραγματοποιείται στα αναλυτικά εργαστήρια της φαρμακευτικής βιομηχανίας που ασχολείται με την παραγωγή ασπιρίνης, είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της **δραστικής ουσίας** (δηλαδή του ακετυλοσαλικυλικού οξέος). Συγκεκριμένα, ελέγχεται η περιεκτικότητα της πρώτης ύλης, την οποία προμηθεύεται η φαρμακευτική βιομηχανική μονάδα είτε από άλλο τμήμα της (περίπτωση καθετοποιημένης παραγωγής) είτε από άλλη μονάδα παραγωγής φαρμακευτικών πρώτων υλών, σε ακετυλοσαλικυλικό

1. Βλ. σχετικά 1ο Κεφάλαιο (Πρώτες Ύλες της Βιομηχανίας) του βιβλίου με τίτλο: Χημική Τεχνολογία II (ΤΕΕ, Β' τάξη 1ου κύκλου, Τομέας Χημικών Εργαστηριακών Εφαρμογών).
2. Κατά τον έλεγχο ποιότητας των πρώτων υλών ελέγχονται, ανάλογα με την περίπτωση, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (μέγεθος, σχήμα, τραχύτητα επιφάνειας κ.ο.κ.), τα φυσικά χαρακτηριστικά (χρώμα, υφή, μηχανική αντοχή κ.ο.κ.) και τα χημικά χαρακτηριστικά (καθαρότητα, ομοιομορφία περιεχομένου, είδος και σύσταση προσμείξεων κ.ο.κ.) των χρησιμοποιούμενων υλικών.

οξύ. Η περιεκτικότητα αυτή πρέπει να μην είναι μικρότερη από 99,5%, όταν έχει υπολογιστεί με αναφορά στην άνυδρη ουσία.

Στην εργαστηριακή άσκηση θα γίνει έλεγχος της περιεκτικότητας δισκίων ασπιρίνης<sup>3</sup> σε ακετυλοσαλικυλικό οξύ.

Η διαδικασία βασίζεται στην υδρόλυση του ακετυλοσαλικυλικού οξέος από υδροξείδιο του νατρίου σε περίσσεια, κατά την εξίσωση:



και στη συνέχεια στην εξουδετέρωση της περίσσειας του υδροξείδιου του νατρίου από το υδροχλωρικό οξύ (**ογκομέτρηση** της περίσσειας του χρησιμοποιηθέντος υδροξείδιου του νατρίου με υδροχλωρικό οξύ<sup>4</sup>).

### 1.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

#### A. ΟΡΓΑΝΑ:

1. Κωνική φιάλη με εσφυρισμένο πώμα.
2. Προχοΐδα των 50 ml.

#### B. ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ-ΥΛΙΚΑ:

1. Δισκία ασπιρίνης.
2. Αιθανόλη,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  (καθαρότητας περίπου 95%).
3. Διάλυμα υδροξείδιου του νατρίου, συγκέντρωσης 0,5 M.
4. Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος, συγκέντρωσης 0,5 M.
5. Διάλυμα δείκτη φαινολοφθαλεΐνης (0,1 g σκόνης φαινολοφθαλεΐνης διαλύεται σε 80 ml αιθανόλης 95%, και το μείγμα αραιώνεται στα 100 ml με απεσταγμένο νερό).

- 
3. Ο έλεγχος θα έπρεπε κανονικά να γίνει σε πρώτη ύλη για την παρασκευή ασπιρίνης και όχι σε δισκία (τελικό προϊόν ή σκεύασμα). Ωστόσο, επειδή η αναλυτική διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που εφαρμόζεται για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ακετυλοσαλικυλικού οξέος σε δισκία ασπιρίνης, τα οποία μάλιστα μπορεί κανείς να προμηθευτεί πολύ εύκολα, προτιμήθηκε η χρήση δισκίων ασπιρίνης (αυτό που διαφοροποιείται είναι η αναμενόμενη περιεκτικότητα, η οποία στην περίπτωση των δισκίων είναι μεγαλύτερη από 95%).
  4. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την ογκομέτρηση διαλυμάτων βλ. Εισαγωγή στην 8η εργαστηριακή άσκηση (Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλύματος αμμωνίας).

#### 1.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Κονιοποιήστε τόσα δισκία ασπιρίνης όσα απαιτούνται για να ληφθεί 1,0 g σκόνης.
2. Διαλύστε μέσα σε κωνική φιάλη με εσφυρισμένο πώμα ολόκληρη την ποσότητα της σκόνης σε 10 ml διαλύματος αιθανόλης.
3. Προσθέστε 50 ml διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου 0,5 M, κλείστε τη φιάλη και αφήστε την σε ηρεμία επί 1 h.
4. Προσθέστε 0,2 ml διαλύματος δείκτη φαινολοφθαλεΐνης (οπότε το διάλυμα χρωματίζεται) και ογκομετρήστε με το διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος 0,5 M μέχρι αποχρωματισμού.
5. Αφαιρέστε τον αριθμό των ml του διαλύματος του υδροχλωρικού οξέος 0,5 M που καταναλώθηκαν από τα 50 ml του διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου 0,5 M που προστέθηκαν και υπολογίστε τη διαφορά (όγκος διαλύματος NaOH 0,5 M που χρησιμοποιήθηκε, σε ml).  
1 ml διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου 0,5 M ισοδυναμεί με 45,04 mg ακετυλοσαλικυλικού οξέος.
6. Υπολογίστε την εκατοστιαία περιεκτικότητα των δισκίων ασπιρίνης σε ακετυλοσαλικυλικό οξύ.

## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ: ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣ- ΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΚΕΤΥΛΟΣΑΛΙΚΥΛΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

Όνοματεπώνυμο: .....

Ημερομηνία: .....

- ① Για την παρασκευή δισκίων ασπιρίνης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σκόνη ακετυλοσαλικυλικού οξέος. Έστω ότι η περιεκτικότητα μιας συγκεκριμένης παρτίδας πρώτης ύλης ακετυλοσαλικυλικού οξέος είναι 70% (αρκετά χαμηλότερη από τις ισχύουσες προδιαγραφές). Ποιες συνέπειες μπορεί να έχει το γεγονός αυτό στην ποιότητα των δισκίων ασπιρίνης που θα παραχθούν;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ② Κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό των δισκίων ασπιρίνης σε ακετυλοσαλικυλικό οξύ χρησιμοποιείται διάλυμα ισχυρής βάσης και διάλυμα ισχυρού οξέος. Ποιος είναι ο ρόλος του κάθε διαλύματος στον προσδιορισμό;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

③ Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

Αρχική ένδειξη προχοϊδας (ml)	
Τελική ένδειξη προχοϊδας (ml)	
Ποσότητα διαλύματος HCl που καταναλώθηκε (ml)	
Ποσότητα διαλύματος NaOH που περίσσεψε (ml)	
Ποσότητα διαλύματος NaOH που χρησιμοποιήθηκε για την υδρόλυση (ml)	
Ισοδύναμη ποσότητα ακετυλοσαλικυλικού οξέος (mg)	
Εκατοστιαία περιεκτικότητα δισκίων ασπιρίνης σε ακετυλοσαλικυλικό οξύ	





## 2<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση:

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΥΔΡΟΧΛΩΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟ

#### 2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σκοπός του πειράματος είναι η διαπίστωση της επίδρασης ορισμένων παραγόντων στην ταχύτητα χημικής αντίδρασης. Το πείραμα περιλαμβάνει δύο μέρη (μελέτη της επίδρασης της επιφάνειας επαφής και μελέτη της επίδρασης της συγκέντρωσης των αντιδρώντων).

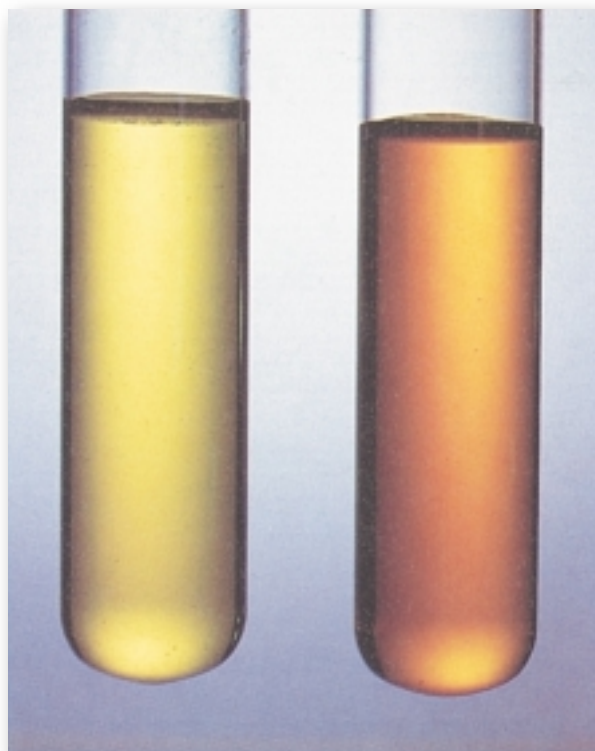
#### 2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ<sup>1</sup>

Ως ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται μια χημική αντίδραση χαρακτηρίζεται ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης των σωμάτων που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση αυτή ( $v = \Delta c / \Delta t$ ). Η μέτρηση της **ταχύτητας αντίδρασης** γίνεται συνήθως είτε με **φυσικές μεθόδους** (παρακολούθηση της μεταβολής φυσικών ιδιοτήτων, όπως είναι η πυκνότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κ.ο.κ., με την πάροδο του χρόνου) είτε με **χημικές μεθόδους** (ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης των συμμετεχόντων σωμάτων στη χημική αντίδραση ανά τακτά χρονικά διαστήματα).

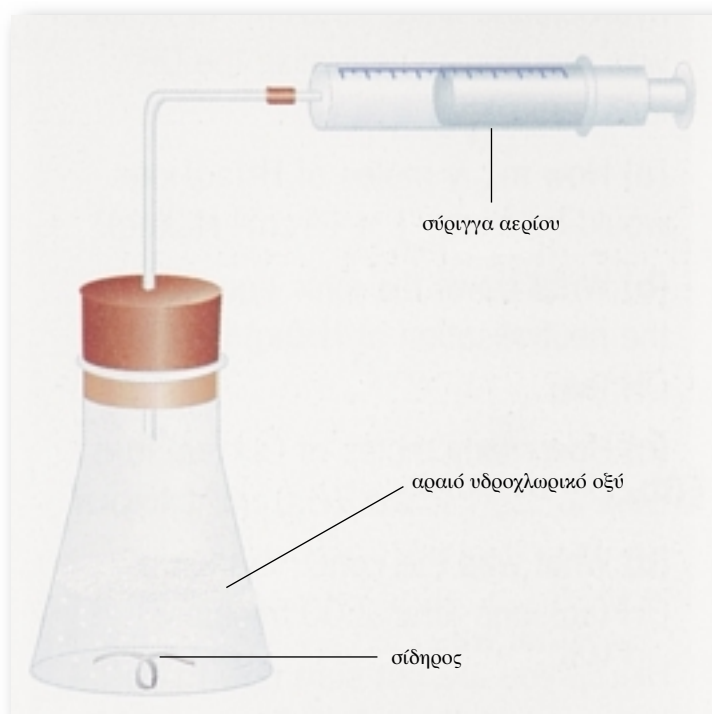
Η ταχύτητα χημικής αντίδρασης εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- ☐ η φύση των αντιδρώντων (ιόντα, μόρια κ.ο.κ.),
- ☐ η επιφάνεια επαφής των στερεών αντιδρώντων σωμάτων (αύξηση της επιφάνειας επαφής, π.χ., με λεπτό τεμαχισμό του στερεού σώματος αυξάνει την ταχύτητα αντίδρασης),
- ☐ η συγκέντρωση των αντιδρώντων (αύξηση της συγκέντρωσης αντιδρώντων αυξάνει την ταχύτητα αντίδρασης),
- ☐ η θερμοκρασία (αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα αντίδρασης),
- ☐ διάφοροι άλλοι παράγοντες όπως η ακτινοβολία, η παρουσία καταλυτών, η πίεση κ.ο.κ.

1. Βλ. σχετικά 2ο Κεφάλαιο (Χημικές Διεργασίες) του βιβλίου με τίτλο: Χημική Τεχνολογία II (ΤΕΕ, Β' τάξη 1ου κύκλου, Τομέας Χημικών Εργαστηριακών Εφαρμογών).



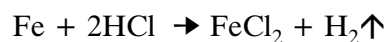
Διάλυμα χλωριούχου σιδήρου (II) (αριστερά) και διάλυμα χλωριούχου σιδήρου (III) (δεξιά).



Παραγωγή αερίου υδρογόνου κατά την επίδραση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος σε σίδηρο (μια εναλλακτική πειραματική διάταξη).



Στην εργαστηριακή άσκηση θα μελετηθεί ειδικότερα η επίδραση (α) της επιφάνειας επαφής του στερεού σιδήρου και (β) της συγκέντρωσης του υδροχλωρικού οξέος στην ταχύτητα της χημικής προσβολής του σιδήρου από το υδροχλωρικό οξύ. Η αντίδραση που μελετάται περιγράφεται από την εξίσωση:



## 2.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

### A. ΟΡΓΑΝΑ:

1. Δοκιμαστικοί σωλήνες των 10 ml περίπου.
2. Στηρίγματα δοκιμαστικών σωλήνων.
3. Κωνικές φιάλες των 25 ml.
4. Σιφώνια.
5. Προχοΐδα.
6. Ελαστικά πώματα δοκιμαστικών σωλήνων και κωνικών φιαλών.
7. Χρονόμετρο.

### B. ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ-ΥΛΙΚΑ:

1. Πολύ μικρά ρινίσματα (ή σκόνη) σιδήρου (μη οξειδωμένα).
2. Σιδερένια καρφιά (μη οξειδωμένα).
3. Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος συγκέντρωσης 1 M.
4. Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος συγκέντρωσης 1,5 M.
5. Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος συγκέντρωσης 2 M.

## 2.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### A. Μελέτη της επίδρασης της επιφάνειας επαφής του σιδήρου

1. Τοποθετήστε σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα 4 g μικρών ρινισμάτων σιδήρου.
2. Προσθέστε ταχέως 7 ml διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 2 M και κλείστε το δοκιμαστικό σωλήνα με ένα ελαστικό πώμα (αεροστεγώς μεν αλλά σχετικά χαλαρά).
3. Απομακρυνθείτε αμέσως από το δοκιμαστικό σωλήνα και ταυτόχρονα αρχίστε τη χρονομέτρηση του διαστήματος που απαιτείται μέχρι να εκτιναχθεί το πώμα από το δοκιμαστικό σωλήνα (το παραγόμενο αέριο υδρογόνο αυξάνει την πίεση στο εσωτερικό του δοκιμαστικού σωλήνα).

4. Επαναλάβετε την ίδια ακριβώς διαδικασία (βήματα 1. έως 3.), χρησιμοποιώντας 4 g σιδερένιων καρφιών αντί των ρινισμάτων σιδήρου.

***B. Μελέτη της επίδρασης της συγκέντρωσης του υδροχλωρικού οξέος***

1. Τοποθετήστε σε μία κωνική φιάλη 3 g μικρών ρινισμάτων σιδήρου.
2. Προσθέστε 10 ml διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 1 M και κλείστε την κωνική φιάλη με ελαστικό πώμα στο οποίο έχει προσαρμοστεί αεροστεγώς ανεστραμμένη προχοΐδα.
3. Χρονομετρήστε από τη στιγμή που θα εμφανιστεί η πρώτη φυσαλίδα μέσα στην προχοΐδα μέχρι τη στιγμή που θα έχουν συγκεντρωθεί 30 ml αερίου ( $H_2$ ) (η στάθμη των φυσαλίδων θα έχει διανύσει μέσα στην προχοΐδα διάστημα που θα αντιστοιχεί σε όγκο 30 ml).
4. Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία (βήματα 1. έως 3.), χρησιμοποιώντας 7 ml διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 1,5 M αντί των 10 ml διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 1 M.

## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΥΔΡΟΧΛΩΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟ

Όνοματεπώνυμο: .....

Ημερομηνία: .....

- ① Συγκρίνετε τους χρόνους που μεσολαβούν μέχρι την εκτίναξη των πωμάτων στους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες του πειράματος Α. Αιτιολογήστε τη διαφορά;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ② Συγκρίνετε τους χρόνους που μεσολαβούν μέχρι τη συσσώρευση 30 ml υδρογόνου στις κωνικές φιάλες του πειράματος Β. Αιτιολογήστε τη διαφορά;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ③ Αναφέρετε με ποιους εναλλακτικούς τρόπους είναι δυνατόν να αυξηθεί η ταχύτητα της επίδρασης του υδροχλωρικού οξέος στο σίδηρο;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### 3<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση:

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΞΑΛΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ - ΑΥΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ

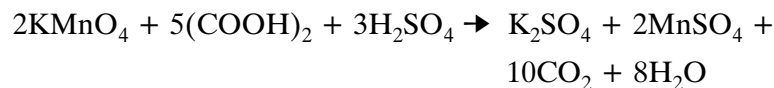
### 3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της επίδρασης των καταλυτών στην ταχύτητα μιας αντίδρασης μέσω του φαινομένου της αυτοκατάλυσης.

### 3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ<sup>1</sup>

Οι καταλύτες είναι ουσίες οι οποίες μεταβάλλουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης χωρίς οι ίδιοι να υφίστανται χημική αλλοίωση.

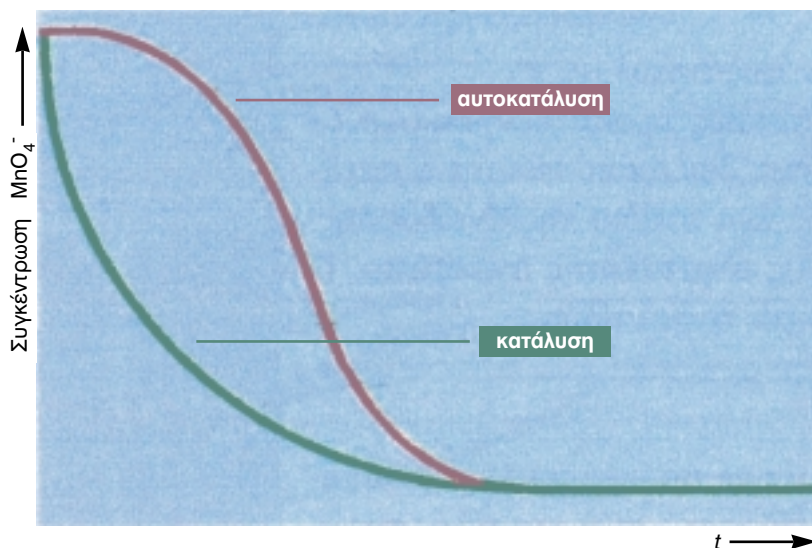
Υπάρχουν περιπτώσεις **αυτοκατάλυσης**, δηλαδή αντιδράσεις στις οποίες ένα από τα προϊόντα δρα ως καταλύτης, όπως είναι, για παράδειγμα, η οξείδωση του οξαλικού οξέος (COOH)<sub>2</sub> με υπερμαγγανικό κάλιο KMnO<sub>4</sub> παρουσία θειικού οξέος:



Στην αντίδραση αυτή ο αποχρωματισμός του διαλύματος γίνεται στην αρχή πολύ αργά (τα ιόντα MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> είναι ροδόχρωμα). Μόλις όμως σχηματιστεί το ιόν Mn<sup>2+</sup>, που δρα ως καταλύτης, ο αποχρωματισμός επιταχύνεται. Αυτό μπορούμε να το διατυπώσουμε και διαγραμματικά, παρακολουθώντας τη συγκέντρωση των ιόντων MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε, δηλαδή, ότι στην αρχή η συγκέντρωση των ιόντων MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> είναι σχεδόν σταθερή. Μόλις όμως σχηματιστεί μια ποσότητα ιόντων Mn<sup>2+</sup>, το φαινόμενο επιταχύνεται, γεγονός που εκδηλώνεται με την απότομη πτώση της συγκέντρωσης των

1. Βλ. σχετικά 2ο Κεφάλαιο (Χημικές Διεργασίες) του βιβλίου με τίτλο: Χημική Τεχνολογία II (ΤΕΕ, Β' τάξη 1ου κύκλου, Τομέας Χημικών Εργαστηριακών Εφαρμογών).

ιόντων  $\text{MnO}_4^-$ . Για συγκριτικούς λόγους παραθέτουμε την ίδια καμπύλη παρουσία ιόντων  $\text{Mn}^{2+}$ , όταν δηλαδή έχουμε προσθέσει καταλύτη από την αρχή. Στην περίπτωση αυτή η επιτάχυνση της αντίδρασης γίνεται από την αρχή, όπως δείχνει η απότομη μεταβολή της συγκέντρωσης των ιόντων  $\text{MnO}_4^-$ .



Η καμπύλη της αντίδρασης στην κατάλυση και στην αυτοκατάλυση, με βάση την αντίδραση οξείδωσης του οξαλικού οξέος με υπερμαγγανικό κάλιο.

### 3.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

#### A. ΟΡΓΑΝΑ:

1. Αναλυτικός ζυγός.
2. Κωνική φιάλη των 250 ml.
3. Ογκομετρικός κύλινδρος των 100 ml.
4. Προχοΐδα των 50 ml.


#### B. ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ-ΥΛΙΚΑ:

1. Οξαλικό νάτριο.
2. Διάλυμα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  συγκέντρωσης 1,8 N.
3. Διάλυμα  $\text{KMnO}_4$  συγκέντρωσης 0,1 N.
4. Θεικό μαγγάνιο.

### 3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Ζυγίστε 1 g οξαλικού νατρίου μέσα σε κωνική φιάλη των 250 ml.
2. Προσθέστε 75 ml διαλύματος θεικού οξέος 1,8 N.



- 
3. Με την προχοΐδα προσθέστε λίγες σταγόνες διαλύματος  $\text{KMnO}_4$ , προσέχοντας να προστίθενται κατευθείαν στο διάλυμα του οξαλικού οξέος και όχι στα τοιχώματα της κωνικής φιάλης. Τι παρατηρείτε;
  4. Συνεχίστε την προσθήκη του διαλύματος  $\text{KMnO}_4$ . Παρατηρείτε διαφορά σε ό,τι αφορά το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο αποχρωματίζεται το διάλυμα του  $\text{KMnO}_4$ ;
  5. Συνεχίστε την προσθήκη κατά σταγόνες έως ότου το ρόδινο χρώμα του διαλύματος  $\text{KMnO}_4$  εξαπλωθεί σε όλη τη μάζα του διαλύματος του οξαλικού οξέος.
  6. Επαναλάβετε τα βήματα 1. έως 5., αλλά αυτή τη φορά στην κωνική φιάλη προσθέστε ένα κόκκο στερεού θειικού μαγγανίου ( $\text{MnSO}_4$ ). Παρατηρείτε διαφορά σε ό,τι αφορά το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο αποχρωματίζεται το διάλυμα του  $\text{KMnO}_4$ ;



## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΞΑΛΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ - ΑΥΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ

Όνοματεπώνυμο: .....

Ημερομηνία: .....

- ① Ποια αντίδραση λαμβάνει χώρα κατά την προσθήκη διαλύματος υπερμαγγανικού καλίου σε οξαλικό νάτριο;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ② Σημειώστε τις παρατηρήσεις σας σχετικά με το χρόνο αποχρωματισμού του διαλύματος  $\text{KMnO}_4$  στα βήματα 3. και 4. του πειράματος. Πού οφείλεται η διαφορά στο χρόνο αποχρωματισμού;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ③ Σημειώστε τις παρατηρήσεις σας σχετικά με το χρόνο αποχρωματισμού του διαλύματος  $KMnO_4$  στο πείραμα στο οποίο αρχικά προσθέσαμε στην κωνική φιάλη τον κόκκο  $MnSO_4$ ; Πού οφείλεται η διαφορά στο χρόνο αποχρωματισμού;

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## 4<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση:

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

#### 4.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

#### 4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ<sup>1</sup>

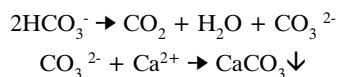
Σκοπός του πειράματος είναι ο συμπλοκομετρικός προσδιορισμός της σκληρότητας του νερού.

**Α.** Η περιεκτικότητα του φυσικού νερού σε μεταλλικά κατιόντα (κυρίως  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Fe}^{2+}$  ή  $\text{Fe}^{3+}$ ) περιορίζει την ικανότητα αφρισμού του νερού και τη δυνατότητα καθαρισμού των ρούχων, όταν χρησιμοποιούνται συνηθισμένα σαπούνια (τα κατιόντα αυτά αντιδρούν με τα ανιόντα των σαπουνιών και σχηματίζουν αδιάλυτα κομμιώδη άλατα). Η **σκληρότητα** του νερού αποτελεί ένα μέτρο της περιεκτικότητάς του στα συγκεκριμένα κατιόντα.

Το **σκληρό νερό** δεν είναι ακατάλληλο μόνο για οικιακή χρήση (πλύσιμο των ρούχων), αλλά και για βιομηχανική χρήση (συσσώρευση αλάτων στους ατμολέβητες, στις σωληνώσεις μεταφοράς του νερού κ.ο.κ.).

Η σκληρότητα του νερού διακρίνεται σε παροδική, σε μόνιμη και σε ολική. Η **παροδική σκληρότητα** οφείλεται σε άλατα των προαναφερθέντων κατιόντων με το όξινο ανθρακικό ανιόν ( $\text{HCO}_3^-$ ). Με βράσιμο, το ευδιάλυτο αυτό ανιόν μετατρέπεται σε δυσδιάλυτο ανθρακικό ανιόν ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), το οποίο συνδυάζεται με τα μεταλλικά κατιόντα σχηματίζοντας ιζήματα<sup>2</sup>. Έτσι, με βράσιμο είναι δυνατόν να απομακρυνθεί η παροδική σκληρότητα του νερού με τη μορφή ιζήματος των αδιάλυτων αλάτων.

1. Βλ. σχετικά 3ο Κεφάλαιο (Νερό) του βιβλίου με τίτλο: Χημική Τεχνολογία II (ΤΕΕ, Β' τάξη 1ου κύκλου, Τομέας Χημικών Εργαστηριακών Εφαρμογών).
2. Οι εξισώσεις που παριστάνουν τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:





*Συσσώρευση ανθρακικού ασβεστίου σε σωλήνα νερού.  
Το στρώμα που σχηματίζεται στο εσωτερικό του σωλήνα  
παρεμποδίζει την ελεύθερη ροή του νερού.*

Η **μόνιμη σκληρότητα** του νερού οφείλεται σε μη ανθρακικά άλατα των μετάλλων (σε άλατα των μετάλλων που περιέχουν ανιόντα όπως:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  κ.ά.) και δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθεί με βράσιμο. Ως **ολική σκληρότητα** χαρακτηρίζεται το άθροισμα της μόνιμης και της παροδικής.

Η σκληρότητα του νερού μετριέται σε **βαθμούς σκληρότητας** ή σε ppm (mg/l) ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$ . Η σχέση μεταξύ των χρησιμοποιούμενων μονάδων είναι η εξής:

$$1^\circ\text{D} = 1,79^\circ\text{F} = 17,9 \text{ ppm CaCO}_3$$

όπου  $^\circ\text{D}$  είναι ο γερμανικός και  $^\circ\text{F}$  ο γαλλικός βαθμός σκληρότητας.

**Β.** Η σκληρότητα του νερού μπορεί να προσδιοριστεί με τρεις τρόπους:

- (α) με μέτρηση και άθροιση των σκληροτήτων που προκαλεί κάθε ιόν χωριστά (ακριβής αλλά απαιτητική μέθοδος),
- (β) συμπλοκομετρικά και
- (γ) με τη βοήθεια σαπωνοδιαλύματος, όπως περιγράφεται στην επόμενη (5η) εργαστηριακή άσκηση (με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται προσεγγιστική εκτίμηση της σκληρότητας).

**Γ.** Στη συνέχεια περιγράφεται ο **συμπλοκομετρικός προσδιορισμός** της ολικής σκληρότητας του νερού.

Για τις ανάγκες του συμπλοκομετρικού προσδιορισμού χρησιμοποιείται κατάλληλο οργανικό αντιδραστήριο, και συγκεκριμένα το δινάτριο άλας του αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος ( $\text{H}_4\text{EDTA}$ ):  **$\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$**  ή Titriplex III. Τα μόρια  $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$  υδρολύονται στο νερό και δίνουν ανιόντα  $\text{H}_2\text{EDTA}^{2-}$ , τα οποία σχηματίζουν **σύμπλοκα** (σταθερές ενώσεις με πολλαπλούς ομοιοπολικούς δεσμούς) με τα κατιόντα του νερού<sup>3</sup>: π.χ.

3. Τα ανιόντα  $\text{H}_2\text{EDTA}^{2-}$  σχηματίζουν σύμπλοκα και με άλλα μεταλλικά κατιόντα (π.χ.  $\text{Fe}^{3+}$ ) που ενδεχομένως υπάρχουν στο νερό. Προκειμένου να συμπλοκοποιηθούν μόνο τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  (κυρίως υπεύθυνα για τη σκληρότητα του νερού), χρησιμοποιείται ρυθμιστικό διάλυμα με pH 10.

$[\text{Ca}(\text{H}_2\text{EDTA})_2]^{2-}$ . Αυτά τα σύμπλοκα ιόντα είναι άχρωμα. Για το λόγο αυτό και προκειμένου να διαπιστώσουμε το τέλος (ολοκλήρωση) της χημικής αντίδρασης, χρησιμοποιούμε κατάλληλο δείκτη. Ως τέτοιος χρησιμοποιείται το μέλαν εριόχρωμα T. Το μέλαν εριόχρωμα T ενώνεται με τα ιόντα  $\text{Mg}^{2+}$  του νερού και σχηματίζει ένα σύμπλοκο ιόν κόκκινου χρώματος (η απομάκρυνση των ιόντων  $\text{Mg}^{2+}$  από το δείγμα του νερού είναι συγκριτικά ελάχιστη). Έτσι, όταν γίνεται σταδιακή προσθήκη  $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$  στο ελεγχόμενο νερό, αμέσως μετά τη συμπλοκοποίηση όλων των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ , τα ιόντα  $\text{H}_2\text{EDTA}^{2-}$  θα συμπλοκοποιήσουν-απομακρύνουν και τα ιόντα  $\text{Mg}^{2+}$  από το σύμπλοκο [ $\text{Mg}^{2+}$ -μέλαν εριόχρωμα T], το οποίο έτσι από κόκκινο θα μετατραπεί σε κυανό. Η χρωματική αυτή αλλαγή από το κόκκινο στο κυανό σημαίνει και το τέλος της ογκομέτρησης<sup>4</sup>.

#### 4.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

##### A. ΟΡΓΑΝΑ:

1. Κωνική φιάλη των 250 ml.
2. Σιφώνιο.
3. Προχοΐδα.
4. Χάρτινος ηθμός.

##### B. ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ-ΥΛΙΚΑ:

1. Νερό δικτύου πόλεως.
2. Ρυθμιστικό διάλυμα  $\text{NH}_3 - \text{NH}_4\text{Cl}$  με pH 10 (5,4 g γλωριούχου αμμωνίου διαλύονται σε 20 ml απεσταγμένου νερού, προστίθενται 35 ml διαλύματος αμμωνίας περιεκτικότητας 180 g/l και το διάλυμα αραιώνεται στα 100 ml με απεσταγμένο νερό).
3. Αλκοολικό διάλυμα δείκτη μέλανος εριοχρώματος T 0,5%.
4. Διάλυμα δινατρίου άλατος του αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος  $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$ , γνωστού τίτλου<sup>5</sup> C.

4. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την ογκομέτρηση διαλυμάτων βλ. εισαγωγή στην 8η Εργαστηριακή άσκηση (Έλεγχος περιεκτικότητας διαλύματος αμμωνίας).

5. Ο τίτλος αυτός εκφράζει τη σκληρότητα συγκεκριμένης ποσότητας νερού, την οποία μπορεί ακριβώς να συμπλοκοποιήσει ίση ποσότητα του εν λόγω διαλύματος  $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$ , π.χ. 0,01 °F. Για τις ανάγκες του υπολογισμού της άσκησης, ο τίτλος αυτός εκφράζεται ως συγκέντρωση C mg  $\text{CaCO}_3/\text{ml}$  διαλύματος  $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$ .



#### 4.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Τοποθετήστε στην κωνική φιάλη 50 ml νερού, με τη βοήθεια σιφωνίου.
2. Προσθέστε 2-3 ml ρυθμιστικού διαλύματος  $\text{NH}_3 - \text{NH}_4\text{Cl}$  με pH 10 και 4 σταγόνες διαλύματος δείκτη και ανακινήστε. Το διάλυμα αποκτά κόκκινο χρώμα.
3. Τοποθετήστε στην προχοΐδα το διάλυμα του δινατρίου αλάτος του αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος.
4. Προσθέστε αργά το διάλυμα που περιέχει η προχοΐδα στο διάλυμα που περιέχει το νερό αναδεύοντας συνεχώς (ογκομέτρηση). Η ογκομέτρηση διακόπτεται, μόλις αλλάξει το χρώμα του διαλύματος που περιέχει το νερό (από κόκκινο γίνει κυανό).
5. Η **ολική σκληρότητα** του ελεγχόμενου νερού προσδιορίζεται σε γαλλικούς βαθμούς από την εξίσωση:

$$\text{Σκληρότητα } ^\circ\text{F} = 2 \times \text{C} \times \text{V}$$

όπου C είναι η συγκέντρωση του διαλύματος του  $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$ , εκφρασμένη σε mg  $\text{CaCO}_3/\text{ml}$  διαλύματος, και V είναι ο όγκος του διαλύματος αυτού που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση (εκφρασμένος σε ml).

6. Αφού βράσετε το νερό για 10 min, το διηθήσετε και το ψύξετε, επαναλάβετε την ίδια ακριβώς διαδικασία (βήματα 1. έως 5.). Η σκληρότητα που θα υπολογίσετε αντιστοιχεί τώρα στη **μόνιμη σκληρότητα** του νερού. Τέλος, η **παροδική σκληρότητα** υπολογίζεται από τη διαφορά της μόνιμης από την ολική σκληρότητα.

## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Όνοματεπώνυμο: .....

Ημερομηνία: .....

- ① Εξηγήστε πού οφείλεται η μόνιμη και πού η παροδική σκληρότητα του νερού.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ② Εξηγήστε τη λειτουργία (α) του δυνατροίου άλατος του αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος και (β) του μέλανος εριοχρώματος  $T$  κατά το συμπλοκομετρικό προσδιορισμό της σκληρότητας του νερού.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ③ Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα για την **ολική σκληρότητα** του νερού συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

Αρχική ένδειξη προχοΐδας (ml)	
Τελική ένδειξη προχοΐδας (ml)	
Ποσότητα διαλύματος $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$ που καταναλώθηκε (ml)	
Ολική σκληρότητα νερού σε γαλλικούς βαθμούς ( $^{\circ}\text{F}$ )	
Ολική σκληρότητα νερού σε ppm $\text{CaCO}_3$	
Ολική σκληρότητα νερού σε γερμανικούς βαθμούς ( $^{\circ}\text{D}$ )	

- ④ Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα για τη **μόνιμη σκληρότητα** του νερού συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

Αρχική ένδειξη προχοΐδας (ml)	
Τελική ένδειξη προχοΐδας (ml)	
Ποσότητα διαλύματος $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{EDTA})$ που καταναλώθηκε (ml)	
Μόνιμη σκληρότητα νερού σε γαλλικούς βαθμούς ( $^{\circ}\text{F}$ )	
Μόνιμη σκληρότητα νερού σε ppm $\text{CaCO}_3$	
Μόνιμη σκληρότητα νερού σε γερμανικούς βαθμούς ( $^{\circ}\text{D}$ )	
Παροδική σκληρότητα νερού σε γαλλικούς βαθμούς ( $^{\circ}\text{F}$ )	
Παροδική σκληρότητα νερού σε ppm $\text{CaCO}_3$	
Παροδική σκληρότητα νερού σε γερμανικούς βαθμούς ( $^{\circ}\text{D}$ )	



## 5<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση:

### ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

#### 5.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σκοπός του πειράματος είναι η αποσκλήρυνση του νερού δικτύου πόλεως με τη χρησιμοποίηση (α) ασβέστη και σόδας και (β) συνθετικής ρητίνης ανταλλαγής ιόντων, και η συνακόλουθη εκτίμηση του βαθμού αποσκλήρυνσης του νερού που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση.

#### 5.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ<sup>1</sup>

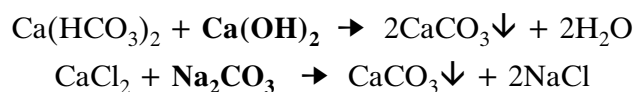
Ύστερα από όσα αναφέρθηκαν στην εισαγωγή της προηγούμενης εργαστηριακής άσκησης (4η) γίνεται εύκολα αντιληπτή η χρησιμότητα της αποσκλήρυνσης, δηλαδή της απομάκρυνσης της σκληρότητας του νερού. Γενικά, η **αποσκλήρυνση του νερού** μπορεί να γίνει με:

- (α) **χημικές μεθόδους καταβύθισης ιόντων**,
- (β) **ανταλλαγή ιόντων** με τη βοήθεια φυσικών ζεόλιθων ή συνθετικών ρητινών ανταλλαγής ιόντων,
- (γ) **απόσταξη**.

Υπενθυμίζεται ότι με απλό βράσιμο είναι δυνατόν να απομακρυνθεί η παροδική (ανθρακική) σκληρότητα του νερού.

Με την απόσταξη λαμβάνεται εξαιρετικά καθαρό νερό. Ωστόσο, το ενεργειακό κόστος της μεθόδου είναι αρκετά υψηλό.

Η συνηθέστερη ίσως χημική μέθοδος αποσκλήρυνσης του νερού είναι η χρησιμοποίηση **ασβέστη** και **σόδας**. Με προσθήκη υδροξειδίου του ασβεστίου ιζηματοποιείται η παροδική (ανθρακική) σκληρότητα του νερού, ενώ με προσθήκη στη συνέχεια ανθρακικής σόδας απομακρύνεται και η μόνιμη σκληρότητα, π.χ.:



1. Βλ. σχετικά 3ο Κεφάλαιο (Νερό) του βιβλίου με τίτλο: Χημική Τεχνολογία II (ΤΕΕ, Β' τάξη Ιου κύκλου, Τομέας Χημικών Εργαστηριακών Εφαρμογών).

Συνήθως, η σκληρότητα που απομένει μετά την εφαρμογή της πλήρους διαδικασίας είναι της τάξης των 2 έως 4°D.

Η αποσκλήρυνση του νερού με χρησιμοποίηση ρητινών ανταλλαγής ιόντων βασίζεται στην ανταλλαγή των κατιόντων του νερού ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) με τα υδρογονοκατιόντα ( $\text{H}^{+}$ ) της κατιονανταλλακτικής ρητίνης και στην ανταλλαγή των ανιόντων του νερού ( $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{-}$ ) με τα υδροξυλιόντα ( $\text{OH}^{-}$ ) της ανιονανταλλακτικής ρητίνης. Έτσι, επιτυγχάνεται παραλαβή **απιονισμένου νερού**, δηλαδή νερού με σκληρότητα συνήθως μικρότερη του 0,1°D (ανάλογα με το χρόνο επαφής, το είδος και το βαθμό κορεσμού της ρητίνης). Πρακτικά το νερό αυτό είναι πλήρως απαλλαγμένο από ιόντα. Η **αναγέννηση** της μεν κατιονανταλλακτικής ρητίνης είναι δυνατόν να γίνει με έκπλυση με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος, της δε ανιονανταλλακτικής ρητίνης με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου.

Τέλος, η εκτίμηση της σκληρότητας του νερού πριν και μετά την εφαρμογή κάποιας διαδικασίας αποσκλήρυνσης (άρα και η εκτίμηση του βαθμού της αποσκλήρυνσης που επιτεύχθηκε), μπορεί να γίνει όχι μόνο με τη συμπλοκομετρική μέθοδο, που αναφέρθηκε αναλυτικά στην προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση (4η), αλλά και με την πρακτική **μέθοδο του σαπωνοδιαλύματος**. Ο όγκος (ml) του σαπωνοδιαλύματος που απαιτείται να προστεθεί στο ελεγχόμενο δείγμα νερού για τη δημιουργία σταθερού αφρού αποτελεί μέτρο της σκληρότητας του νερού.

### 5.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

#### A. ΟΡΓΑΝΑ:

1. Στήλη συνθετικής ρητίνης ανταλλαγής ιόντων.
2. Προχοΐδα.
3. Κωνικές φιάλες.
4. Χάρτινος ηθμός.

#### B. ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ-ΥΛΙΚΑ:

1. Νερό δικτύου πόλεως.
2. Σαπωνοδιάλυμα (παρασκευάζεται με τη βοήθεια παραδοσιακού σαπουνιού και όχι απορρυπαντικού).



## 5.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3. Ασβέστης ( $\text{CaO}$ ).
4. Σόδα ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

### *A. Αποσκλήρυνση με προσθήκη ασβέστη και σόδας*

1. Τοποθετήστε 25 ml νερού σε κωνική φιάλη.
2. Προσθέστε περίπου 1 g ασβέστη και ανακινήστε τη φιάλη έντονα μέχρι να διαλυθεί ο ασβέστης.
3. Προσθέστε περίπου 1 g σόδας και ανακινήστε τη φιάλη έντονα μέχρι να διαλυθεί η σόδα.
4. Διηθήστε το περιεχόμενο της φιάλης με τη βοήθεια χάρτινου ηθμού.

### *B. Αποσκλήρυνση με τη βοήθεια συνθετικής ρητίνης ανταλλαγής ιόντων*

1. Τοποθετήστε τη στήλη της ρητίνης σε κατακόρυφη θέση και συνδέστε την παροχή νερού του δικτύου με την κάτω είσοδο της στήλης. Ανοίξτε την παροχή του νερού με τέτοιο τρόπο, ώστε από το σωλήνα που έχει συνδεθεί με την έξοδο στο άνω μέρος της στήλης να επιτυγχάνεται παροχή νερού της τάξης 100 ml/min.
2. Συγκεντρώστε 25 ml νερού από την εκροή της στήλης, η οποία πρέπει να έχει λειτουργήσει ήδη επί 1 h.

### *Γ. Εκτίμηση της σκληρότητας του νερού*

1. Τοποθετήστε στην προχοΐδα 15 ml σαπωνοδιαλύματος και ανοίξτε τη στρόφιγγα μέχρι να χυθεί μία σταγόνα στο κενό.
2. Τοποθετήστε 25 ml νερού δικτύου πόλεως σε κωνική φιάλη και προσθέστε μία σταγόνα σαπωνοδιαλύματος. Ανακινήστε έντονα τη φιάλη και παρατηρήστε επί 1 min τον αφρό που σχηματίζεται. Αν μετά από την παρέλευση 1 min ο αφρός δεν υπάρχει, επαναλάβετε τη διαδικασία προσθέτοντας μία ακόμη σταγόνα σαπωνοδιαλύματος. Σταματήστε τη διαδικασία, μόνο όταν ο αφρός παραμείνει μετά την παρέλευση 1 min. Σημειώστε τον όγκο (ml) του σαπωνοδιαλύματος που καταναλώθηκε.
3. Επαναλάβετε την ίδια ακριβώς διαδικασία (βήματα 1. έως 2.) για το νερό που έχει υποστεί αποσκλήρυνση (α) με τη χρησιμοποίηση ασβέστη και σόδας και (β) με τη χρησιμοποίηση ρητίνης ανταλλαγής ιόντων.



## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Όνοματεπώνυμο: .....

Ημερομηνία: .....

- ① Περιγράψτε συνοπτικά τις μεθόδους αποσκλήρυνσης του νερού.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ② Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα για τον έλεγχο του νερού δικτύου πόλεως συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

Αρχική ένδειξη προχοϊδας (ml)	
Τελική ένδειξη προχοϊδας (ml)	
Ποσότητα σαπωνοδιαλύματος που καταναλώθηκε (ml)	

- ③ Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα για τον έλεγχο του νερού μετά την αποσκλήρυνση με αοβέστη και σόδα συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

Αρχική ένδειξη προχοϊδας (ml)	
Τελική ένδειξη προχοϊδας (ml)	
Ποσότητα σαπωνοδιαλύματος που καταναλώθηκε (ml)	
Βαθμός αποσκλήρυνσης (μείωση σκληρότητας/αρχική σκληρότητα) %	

- ④ Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα για τον έλεγχο του νερού μετά την αποσκλήρυνση με ρητίνη ανταλλαγής ιόντων συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα:

Αρχική ένδειξη προχοΐδας (ml)	
Τελική ένδειξη προχοΐδας (ml)	
Ποσότητα σαπωνοδιαλύματος που καταναλώθηκε (ml)	
Βαθμός αποσκλήρυνσης (μείωση σκληρότητας/αρχική σκληρότητα) %	

- ⑤ Με ποια από τις δύο μεθόδους αποσκλήρυνσης επιτεύχθηκε καλύτερη αποσκλήρυνση (μεγαλύτερος βαθμός αποσκλήρυνσης) και πώς μπορείτε να αιτιολογήσετε το γεγονός αυτό;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....