

# ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Γ. ΘΕΜΕΛΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΖΑΧΑΡΙΑΔΗΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ ΧΗΜΕΙΑΣ



Κάθε γνήσιο αντίτυπο πρέπει να φέρει τις ιδιόχειρες υπογραφές των συγγραφέων Δημητρίου Γ. Θεμελή και Γεωργίου Α. Ζαχαριάδη

ISBN 960 -431 -424 -6

© Copyright: Δ. Γ. Θεμελής - Γ. Α. Ζαχαριάδης, Σεπτέμβριος 1997, Θεσσαλονίκη.

Απαγορεύεται η μερική ή ολική ανατύπωση του παρόντος και η με οποιοδήποτε τρόπο αναπαραγωγή του, καθώς επίσης και η φωτοτύπηση τμήματος ή ολόκληρου του βιβλίου, χωρίς την έγγραφη άδεια των συγγραφέων.



**Φωτοστοιχειοθεσία  
- Εκτύπωση**

**Βιβλιοπωλείο**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**

18° κλμ. Θεσ/νίκης-Περαιάς (στροφή Τριλόφου) ● Τ.Θ. 170 57  
Θεσσαλονίκη 542 10 ● ☎ & Fax (0392) 72 222 (3 γραμμές)

**ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ**

Αρμενοπούλου 27 ● ☎ (031) 203 720  
Θεσσαλονίκη 546 35 ● Fax (031) 211 305

*e-mail: ziti@hyper.gr*

*Στις συζύγους μας  
Φιλομένη Σαρίδου - Θεμελή  
και Χρυσούλα Ζαχαριάδου*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται κυρίως στους φοιτητές των τμημάτων Φαρμακευτικής, Βιολογίας, Γεωλογίας και Γεωπονίας, που παρακολουθούν το μάθημα της Αναλυτικής Χημείας. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και από οποιονδήποτε ασχολείται με τη χημική ανάλυση.

Στόχος των συγγραφέων ήταν η συγγραφή ενός νέου και σύγχρονου βιβλίου, που να καλύπτει, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, την ύλη που διδάσκεται στους φοιτητές που απευθύνεται, θεωρητικά και εργαστηριακά, μέσα σ' ένα εξάμηνο, χωρίς επουσίωδεις λεπτομέρειες και πλατειασμούς, που θα απαιτούσαν πολύ μεγαλύτερη έκταση κειμένου. Λήφθηκε πρόνοια, ώστε το βιβλίο να διαβάζεται εύκολα, ευχάριστα και να είναι ευκόλως κατανοητό από τους αναγνώστες. Τελική επιδίωξη των συγγραφέων ήταν να δοθεί στους φοιτητές ένα βιβλίο, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθόλη τη διάρκεια των σπουδών τους.

Η Αναλυτική Χημεία είναι ένας εφαρμοσμένος κλάδος της Χημείας, που αντικείμενο έχει την εύρεση της ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης των διάφορων ουσιών. Επομένως η ύλη ενός βιβλίου Αναλυτικής Χημείας πρέπει να καλύπτει και τις εργαστηριακές ασκήσεις των φοιτητών. Για το λόγο αυτό πιστεύεται ότι το βιβλίο αυτό θα είναι εύρηστο και σαν εργαστηριακό βοήθημα των φοιτητών.

Η παρουσιαζόμενη ύλη της Αναλυτικής Χημείας εντάχθηκε σε τρία αυτοτελή μέρη:

Στο πρώτο μέρος αναπτύσσονται οι εισαγωγικές έννοιες που είναι απαραίτητες σε οποιαδήποτε αναλυτική μέθοδο, όπως: ορολογία και ορισμοί κλασικών εννοιών, σύμφωνα με τις τελευταίες προτάσεις της επιτροπής αναλυτικής ορολογίας της Διεθνούς Ένωσης Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας (IUPAC)· περιεχόμενο Αναλυτικής Χημείας, μέθοδοι χημικής ανάλυσης και εφαρμογές της Αναλυτικής Χημείας· τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης των διαλυμάτων· ταχύτητα αντίδρασης και χημική ισορροπία διάφορων συστημάτων· ομογενείς και ετερογενείς ισορροπίες ιονικών διαλυμάτων, δηλαδή ισορροπίες των ασθενών οξέων και βάσεων, του νερού και των ιόντων του, των ιζημάτων και των σύμπλοκων ιόντων.

Στο δεύτερο μέρος περιγράφονται οι χαρακτηριστικές αντιδράσεις των κατιόντων

των πέντε αναλυτικών ομάδων, καθώς και η κλασική υγροχημική μέθοδος με τη χρήση του υδροθείου, που προτάθηκε από τον *Fresenius*, για την ποιοτική ανάλυση των κατιόντων των μετάλλων με κατάταξή τους σε αναλυτικές ομάδες. Για κάθε αναλυτική ομάδα παρέχονται επεξηγήσεις των διάφορων διεργασιών της ανάλυσης, γράφεται ο τρόπος ανίχνευσης κάθε κατιόντος και δίνεται διαγραμματική παράσταση της συστηματικής ανάλυσης των κατιόντων της ομάδας. Τέλος εξετάζεται με αναλυτικό και εμπειριστατωμένο τρόπο η ποιοτική γενική ανάλυση μείγματος κατιόντων όλων των αναλυτικών ομάδων σε άγνωστο δείγμα, στερεό ή υγρό.

Στο τρίτο μέρος περιγράφονται οι κύριες μέθοδοι της σταθμικής και τιτλομετρικής ανάλυσης, που εφαρμόζονται για τον ποσοτικό προσδιορισμό διάφορων χημικών ουσιών σε διαλύματά τους. Επίσης αναπτύσσονται οι πιο διαδεδομένες ενόργανες μέθοδοι ανάλυσης: η φασματοσκοπία μοριακής απορρόφησης υπεριώδους - ορατού και η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης. Για κάθε μέθοδο αρχικώς γίνεται μία εκτεταμένη εισαγωγή, ώστε να είναι δυνατή η πληρέστερη κατανόησή της και να γίνεται με αρτιότητα η εκτέλεση κάθε ποσοτικού προσδιορισμού που αναφέρεται σ' αυτήν. Για όλες τις τεχνικές που περιγράφονται δίνονται παραδείγματα ποσοτικών προσδιορισμών, οι οποίοι εκτελούνται από τους φοιτητές στο εργαστήριο.

Για την εξοικείωση των φοιτητών στον τρόπο προσέγγισης και επίλυσης κάθε προβλήματος και διεργασίας μιας χημικής ανάλυσης, δίνεται στο τέλος κάθε κεφαλαίου ένας ικανοποιητικός αριθμός προσεκτικώς επιλεγμένων λυμένων και άλυτων προβλημάτων.

Στο τέλος του βιβλίου δίνεται εκτεταμένο παράρτημα. Αρχικώς περιγράφονται οι όροι: *ισοδύναμο* μιας ουσίας και *κανονική συγκέντρωση*, σύμφωνα με τις προτάσεις της IUPAC, ώστε ο ορισμός τους να είναι σαφής και οι μονάδες τους σύμφωνα με το σύστημα SI. Τούτο κρίθηκε απαραίτητο για την κατανόηση των όρων αυτών από πολλούς επιστήμονες, που εξακολουθούν να τους χρησιμοποιούν, παρόλο που προτείνεται από την IUPAC η κατάργησή τους. Εξυπακούεται από τα παραπάνω ότι, μετά τη διεθνή αποδοχή του mole ως του θεμελιώδους μεγέθους της ποσότητας ουσίας στο σύστημα SI, οι συγκεντρώσεις των πρότυπων διαλυμάτων και όλοι οι ποσοτικοί προσδιορισμοί, ακόμη και αυτοί που βασίζονται στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, εκφράζονται με συγκεντρώσεις ποσότητας ουσίας ή σχέσεις moles σ' όλη την έκταση του βιβλίου. Στη συνέχεια δίνονται αφενός λίστα με τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα περιοδικά της Αναλυτικής Χημείας και αφετέρου πίνακες σταθερών που είναι απαραίτητες για την επίλυση των διάφορων προβλημάτων. Τέλος παραθέτονται ευρετήρια συμβόλων και ξενόγλωσσων όρων, επιπροσθέτως του γενικού ευρετηρίου.

Το βιβλίο αυτό ενδέχεται να περιέχει ατέλειες ή και τυπογραφικές αβλεψίες. Για το λόγο αυτό κάθε καλόπιστη κριτική, σχόλιο, υπόδειξη και επισημάνσεις θα ήταν δεκτές και χρήσιμες για τη βελτίωση της ποιότητας της έκδοσης.

Προς την κ. Κατερίνα Τιντικάκη - Πλυτά και τον κ. Μπάμπη Κιμίκογλου επιθυμούμε, και από τη θέση αυτή, να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας για την προσεκτική τους εργασία, την προσοχή στη λεπτομέρεια και την επιμέλεια της στοιχειοθέτησης. Ευχαριστούμε επίσης τις Εκδόσεις Π. Ζήτη & Σία Ο.Ε., για την αριότητα της έκδοσης.

*ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Γ. ΘΕΜΕΛΗΣ  
ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΖΑΧΑΡΙΑΔΗΣ*

*Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 1997*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	vii
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	xix
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	xxi

### *ΜΕΡΟΣ Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ*

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ**

1.1. Ορολογία θεμελιωδών κλασικών εννοιών	3
1.2. Περιεχόμενο Αναλυτικής Χημείας	5
1.3. Μέθοδοι χημικής ανάλυσης	5
1.4. Εφαρμογές Αναλυτικής Χημείας	6
1.5. Βασικές θεωρητικές αρχές Αναλυτικής Χημείας	6

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ. ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΟΥΣΙΩΝ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ**

2.1. Διαλύματα	9
2.2. Τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης διαλυμάτων	10
Λυμένα προβλήματα	15
Άλυτα προβλήματα	19

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ**

3.1. Ταχύτητα αντίδρασης	23
3.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης	26
3.2. Χημική ισορροπία	30
3.2.1. Νόμος χημικής ισορροπίας	32
3.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη χημική ισορροπία	38

Λυμένα προβλήματα	41
Άλυτα προβλήματα	49

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΑΣΘΕΝΩΝ ΟΞΕΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΕΩΝ**

4.1. Ηλεκτρολύτες και μη ηλεκτρολύτες	55
4.2. Βαθμός διάστασης. Ισχυροί και ασθενείς ηλεκτρολύτες	56
4.3. Ιονισμός ασθενών μονοπρωτικών οξέων και βάσεων	57
4.3.1. Διάλυμα ασθενούς μονοπρωτικού οξέος ή ασθενούς μονοπρωτικής βάσης απουσία άλλων ενώσεων	60
4.3.2. Διάλυμα ασθενούς μονοπρωτικού οξέος ή ασθενούς μονοπρωτικής βάσης στο οποίο συνυπάρχει ένα ισχυρό οξύ ή μία ισχυρή βάση αντιστοίχως ή ένα άλας που έχει κοινό ιόν με το ασθενές οξύ ή την ασθενή βάση αντιστοίχως.	63
4.4. Ιονισμός ασθενών πολυπρωτικών οξέων και βάσεων	67
4.5. Ιονισμός νερού. Κλίμακα pH	70
4.6. Υδρόλυση	73
4.6.1. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ισχυρά οξέα και ισχυρές βάσεις	74
4.6.2. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ασθενή οξέα και ισχυρές βάσεις	75
4.6.3. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ισχυρά οξέα και ασθενείς βάσεις	78
4.6.4. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ασθενή οξέα και ασθενείς βάσεις	81
4.7. Ρυθμιστικά διαλύματα	84
4.7.1. Υπολογισμός του pH ρυθμιστικών διαλυμάτων	84
4.7.2. Χωρητικότητα ρυθμιστικών διαλυμάτων	88
4.7.3. Παρασκευή ρυθμιστικών διαλυμάτων	89
Λυμένα προβλήματα	90
Άλυτα προβλήματα	100

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ. ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ**

5.1. Εισαγωγή	105
5.2. Διαλυτότητα ηλεκτρολυτών. Αρχή γινομένου διαλυτότητας	105



5.3. Σχέση μεταξύ διαλυτότητας και σταθεράς γινομένου διαλυτότητας	108
5.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα ενός ισχυρού και δυσδιάλυτου ηλεκτρολύτη	110
5.5. Κλασματική καταβύθιση	116
5.5.1. Εφαρμογές κλασματικής καταβύθισης	118
5.6. Εφαρμογές της αρχής του γινομένου διαλυτότητας. Σχηματισμός και διάλυση ιζημάτων.	122
Λυμένα προβλήματα	123
Άλυτα προβλήματα	131

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΣΥΜΠΛΟΚΑ ΙΟΝΤΑ**

6.1. Εισαγωγή	137
6.2. Σχηματισμός και δομή συμπλοκων ιόντων	139
6.3. Ευκίνητα και αδρανή συμπλοκα ιόντα	142
6.4. Φύση του δεσμού στα συμπλοκα ιόντα	142
6.5. Είδη συμπλοκων ιόντων	144
6.6. Διάσταση συμπλοκων ιόντων	146
6.7. Επίδραση της συμπλοκοποίησης στη διαλυτότητα ενός ισχυρού και δυσδιάλυτου ηλεκτρολύτη	147
6.8. Εφαρμογές συμπλοκων ενώσεων στην ανάλυση	148
Λυμένα προβλήματα	150
Άλυτα προβλήματα	157

## ***ΜΕΡΟΣ ΙΙ. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ***

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΟΡΙΣΜΟΙ**

7.1. Γενικοί ορισμοί στην Ποιοτική Ανάλυση	163
7.2. Ορισμός ιζήματος. Σχηματισμός και είδη ιζημάτων	164

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΠΡΩΤΗ (I) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ**

9.1. Εισαγωγή	169
---------------	-----

9.2. Αντιδράσεις των κατιόντων	169
9.2.1. Επίδραση διαλύματος HCl	170
9.2.2. Επίδραση διαλύματος NH <sub>3</sub>	171
9.2.3. Επίδραση διαλύματος NaOH	172
9.2.4. Επίδραση διαλύματος H <sub>2</sub> S	173
9.2.5. Επίδραση διαλύματος KI	173
9.2.6. Επίδραση διαλύματος K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	174
9.2.7. Επίδραση άλλων αντιδραστηρίων	174
9.3. Διαχωρισμός και ανίχνευση των κατιόντων	175
9.3.1. Αρχή διαχωρισμού	175
9.3.2. Πορεία διαχωρισμού	175
9.4. Διαχωρισμός ζευγών κατιόντων ή ενώσεών τους με τη χρήση ενός αντιδραστηρίου	177

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΔΕΥΤΕΡΗ (II) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ**

10.1. Εισαγωγή	179
10.2. Αντιδράσεις των κατιόντων	180
10.2.1. Επίδραση νερού (υδρόλυση)	180
10.2.2. Επίδραση διαλύματος NH <sub>3</sub>	181
10.2.3. Επίδραση διαλύματος NaOH	182
10.2.4. Επίδραση διαλύματος H <sub>2</sub> S	184
10.2.5. Επίδραση διαλύματος KI	185
10.2.6. Επίδραση άλλων αντιδραστηρίων	186
10.3. Διαχωρισμός και ανίχνευση των κατιόντων	188
10.3.1. Αρχή διαχωρισμού	188
10.3.2. Πορεία διαχωρισμού	188
10.4. Διαχωρισμός ζευγών κατιόντων ή ενώσεών τους με τη χρήση ενός αντιδραστηρίου	196

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΤΡΙΤΗ (III) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ**

11.1. Εισαγωγή	199
11.2. Αντιδράσεις των κατιόντων	199
11.2.1. Επίδραση διαλύματος NH <sub>3</sub>	200
11.2.2. Επίδραση διαλύματος NaOH	201

11.2.3. Επίδραση διαλύματος $H_2S$	203
11.2.4. Επίδραση άλλων αντιδραστηρίων	205
11.3. Διαχωρισμός και ανίχνευση των κατιόντων	207
11.3.1. Αρχή διαχωρισμού	207
11.3.2. Πορεία διαχωρισμού	207
11.4. Διαχωρισμός ζευγών κατιόντων ή ενώσεών τους με τη χρήση ενός αντιδραστηρίου	214

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΤΕΤΑΡΤΗ (IV) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ**

12.1. Εισαγωγή	215
12.2. Αντιδράσεις των κατιόντων	215
12.2.1. Επίδραση διαλύματος $(NH_4)_2CO_3$	215
12.2.2. Επίδραση διαλύματος $(NH_4)_2SO_4$	216
12.2.3. Επίδραση διαλύματος $(NH_4)_2C_2O_4$	217
12.2.4. Επίδραση διαλύματος $K_2CrO_4$	218
12.2.5. Επίδραση διαλύματος $Na_3PO_4$	218
12.2.6. Πυροχημικές αντιδράσεις των κατιόντων	219
12.3. Διαχωρισμός και ανίχνευση των κατιόντων	220
12.3.1. Αρχή διαχωρισμού	220
12.3.2. Πορεία διαχωρισμού	220
12.4. Διαχωρισμός ζευγών κατιόντων ή ενώσεών τους με τη χρήση ενός αντιδραστηρίου	223

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΠΕΜΠΤΗ (V) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ**

13.1. Εισαγωγή	225
13.2. Αντιδράσεις των κατιόντων	225
13.2.1. Επίδραση διαλύματος $NH_3$	226
13.2.2. Επίδραση διαλύματος $NaOH$	226
13.2.3. Επίδραση διαλύματος $HClO_4$	226
13.2.4. Επίδραση διαλύματος $H_2[PtCl_6]$	227
13.2.5. Επίδραση διαλύματος $Na_3[Co(NO_2)_6]$	227
13.2.6. Επίδραση διαλύματος $NaHC_4H_4O_6$	228
13.2.7. Επίδραση άλλων αντιδραστηρίων	228
13.2.8. Πυροχημικές αντιδράσεις κατιόντων	230
13.3. Διαχωρισμός και ανίχνευση των κατιόντων	230

13.3.1. Αρχή διαχωρισμού	230
13.3.2. Πορεία διαχωρισμού	231
13.4. Διαχωρισμός ζευγών κατιόντων ή ενώσεών τους με τη χρήση ενός αντιδραστηρίου	232

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΑΓΝΩΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ**

14.1. Προκαταρκτικός έλεγχος άγνωστου διαλύματος	233
14.2. Προκαταρκτικός έλεγχος άγνωστου στερεού	234

## ***ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ***

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15. ΣΤΑΘΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

15.1. Εισαγωγή	239
15.2. Θεωρητικές αρχές	240
15.2.1. Χημική στοιχειομετρία και στοιχειομετρικοί υπολογισμοί	240
15.2.2. Ταξινόμηση σταθμικών μεθόδων	242
15.3. Σταθμικές μέθοδοι καταβύθισης	243
15.3.1. Εισαγωγικές έννοιες και ορισμοί	243
15.3.2. Ομογενής καταβύθιση	247
15.3.3. Συνθήκες καταβύθισης ιζήματος	247
15.3.4. Στάδια σταθμικών μεθόδων καταβύθισης	250
15.3.5. Εφαρμογές σταθμικών μεθόδων καταβύθισης	251
15.3.5.1. Προσδιορισμός ασβεστίου	254
15.3.5.2. Προσδιορισμός σιδήρου	256
Λυμένα προβλήματα	259
Άλυτα προβλήματα	264

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16. ΤΙΤΛΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

16.1. Εισαγωγή	271
16.2. Θεωρητικές αρχές	271
16.2.1. Προϋποθέσεις χρησιμοποίησης μιας αντίδρασης στην τιτλομετρική ανάλυση	273
16.2.2. Ταξινόμηση τιτλομετρικών μεθόδων	273

16.2.3. Συσκευές και αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στις τιτλομετρικές μεθόδους	274
16.3. Οξεοβασικές τιτλομετρήσεις	275
16.3.1. Οξυμετρία	275
16.3.2. Αλκαλιμετρία	279
16.4. Τιτλομετρήσεις καταβύθισης	281
16.4.1. Αργυρομετρία	282
16.5. Συμπλοκομετρικές τιτλομετρήσεις	286
16.5.1. Διαπίστωση τελικού σημείου. Μεταλλοχρωμικοί δείκτες	288
16.5.2. Προσδιορισμός ασβεστίου και μαγνησίου στο πόσιμο νερό	289
16.6. Οξειδοαναγωγικές τιτλομετρήσεις	292
16.6.1. Μαγγανιομετρία	294
16.6.2. Ιωδιομετρία	297
Λυμένα προβλήματα	302
Άλυτα προβλήματα	306

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ - ΟΡΑΤΟΥ**

17.1. Εισαγωγή. Νόμος Bouguer-Lambert-Beer	321
17.2. Φασματοφωτόμετρα υπεριώδους - ορατού	323
17.3. Ποσοτικοί προσδιορισμοί	325
17.4. Εφαρμογές φασματοσκοπίας μοριακής απορρόφησης υπεριώδους- ορατού	329
17.4.1. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός ορθοφωσφορικών ιόντων	330
Λυμένα προβλήματα	332
Άλυτα προβλήματα	334

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ**

18.1. Εισαγωγή	337
18.2. Φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης	339
18.3. Ποσοτικοί προσδιορισμοί	342
18.4. Παρεμποδίσεις	344
18.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης	345
18.6. Εφαρμογές φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης	346
18.6.1. Προσδιορισμός ψευδαργύρου	346

Λυμένα προβλήματα	348
Άλυτα προβλήματα	354

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ισοδύναμα. Κανονική συγκέντρωση	359
Κυριότερα περιοδικά της Αναλυτικής Χημείας	368
Σχετικές ατομικές μάζες των χημικών στοιχείων, βασισμένες στη σχετική ατομική μάζα του $^{12}\text{C}$ , $A_r(^{12}\text{C}) = 12,00$	369
Σταθερές ιονισμού ασθενών οξέων στους $25^\circ\text{C}$	371
Σταθερές ιονισμού ασθενών βάσεων στους $25^\circ\text{C}$	373
Σταθερές γινομένου διαλυτότητας στους $25^\circ\text{C}$	374
Σταθερές αστάθειας σύμπλοκων ιόντων στους $25^\circ\text{C}$	379
Πίνακας κοινών λογαρίθμων	382

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	387
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	391
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΩΝ ΟΡΩΝ	409

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

### 1.1. Ορολογία θεμελιωδών κλασικών εννοιών

Η παγκόσμια αποδοχή του διεθνούς συστήματος μονάδων (SI) είχε σαν αποτέλεσμα την κατάργηση ή τη διαφοροποίηση πολλών όρων της Αναλυτικής Χημείας, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στο παρελθόν. Αναμφιβόλως μερικοί από τους όρους αυτούς χρησιμοποιήθηκαν, για να εκφράσουν έννοιες, οι οποίες όχι μόνο δεν ήταν σε συμφωνία με την ακριβή χρήση του συστήματος SI, αλλά, πολλές φορές, ήταν ακόμη και σε αντίθεση μ' αυτό. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η επαναδιατύπωση μερικών βασικών εννοιών, ώστε να φαίνεται ξεκάθαρα η σχέση μεταξύ των σύγχρονων και παλαιών ορολογιών.

Η Επιτροπή Αναλυτικής Ορολογίας της Διεθνούς Ένωσης Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας (IUPAC) έδωσε τους παρακάτω ορισμούς:

**Σχετική ατομική μάζα (relative atomic mass),  $A_r(\text{X})$ .** Ο όρος αυτός παλιότερα ονομαζόταν “ατομικό βάρος” και σήμερα ορίζεται ως η μέση μάζα ανά άτομο ενός στοιχείου X, με τη φυσική του ισοτοπική σύσταση, σε σχέση με το 1/12 της μάζας ενός ατόμου άνθρακα-12. Για παράδειγμα:  $A_r(\text{H}) = 1,01$ ,  $A_r(\text{Br}) = 79,90$ ,  $A_r(\text{Fe}) = 55,85$ .

**Σχετική μοριακή μάζα (relative molecular mass),  $M_r(\text{X})$ .** Η παλιότερη ονομασία του όρου αυτού ήταν “μοριακό βάρος” και σήμερα ορίζεται ως η μέση μάζα μιας ένωσης X, που αντιστοιχεί στο χημικό της τύπο, σε σχέση με το 1/12 της μάζας ενός ατόμου άνθρακα-12, και στην οποία ένωση τα άτομα που την αποτελούν έχουν τη φυσική ισοτοπική τους σύσταση. Για παράδειγμα:  $M_r(\text{KCl}) = 74,55$ ,  $M_r(\text{Hg}_2\text{Cl}_2) = 472,08$ .

**Ποσότητα ουσίας (amount of substance) ή αριθμός των moles μιας ουσίας,  $n$ .** Στο σύστημα SI το θεμελιώδες μέγεθος για την ποσότητα ουσίας είναι το *mole*, το οποίο ορίζεται ως η ποσότητα ουσίας ενός συστήματος το οποίο περιέχει

τόσο αριθμό στοιχειωδών οντοτήτων (*elementary entities*), όσα άτομα υπάρχουν σε 0,012 kg του ισότοπου του άνθρακα-12. Ο αριθμός των στοιχειωδών οντοτήτων που αναφέρονται στον ορισμό αυτόν είναι ο *αριθμός Avogadro*,  $N_A$ , ο οποίος ισούται με  $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ . Όταν χρησιμοποιείται η έννοια του mole, οι στοιχειώδεις οντότητες πρέπει να καθορίζονται με ακρίβεια και μπορεί να είναι άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια, άλλα σωματίδια ή καθορισμένες ομάδες σωματιδίων. Π.χ.  $6,022 \cdot 10^{23}$  άτομα αργιλίου είναι 1 mol αργιλίου,  $6,022 \cdot 10^{23}$  μόρια υδρογόνου είναι 1 mol υδρογόνου και  $6,022 \cdot 10^{23}$  ηλεκτρόνια είναι 1 mol ηλεκτρονίων.

Αν και η θεμελιώδης μονάδα μάζας στο σύστημα SI είναι το kg, η χρήση υποπολλαπλάσιων μονάδων, όπως π.χ. g, mg, είναι αποδεκτή.

Η μάζα ενός mole μιας οποιασδήποτε οντότητας X ονομάζεται **μοριακή μάζα (molar mass)**,  $M(X)$ , και ορίζεται ως *μάζα ανά ποσότητα ουσίας*. Στο σύστημα SI η μονάδα της μοριακής μάζας είναι το  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ , αλλά η πρακτική μονάδα συνήθως είναι το  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Π.χ.  $M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{H}^+) = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  και  $M(\text{Cl}_2) = 70,90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Η ποσότητα ουσίας ή ο αριθμός των moles μιας οντότητας (*entity*) X,  $n_X$ , ορίζεται ως *μάζα της οντότητας X ανά μοριακή μάζα της οντότητας X*

$$n_X = \frac{m_X}{M(X)} \quad (1-1)$$

Με πρόσθεση των σχετικών ατομικών μαζών των ατόμων που απαρτίζουν την οντότητα X υπολογίζεται η μάζα της. Για παράδειγμα:

$$\begin{aligned} n_{\text{Mg}^{2+}} &= 5 \text{ mmol} && (\text{με μάζα } 0,1216 \text{ g}), \\ n_{\text{KMnO}_4} &= 0,1 \text{ mol} && (\text{με μάζα } 15,804 \text{ g}), \\ n_{\text{F}} &= 6 \text{ mmol} && (\text{με μάζα } 0,114 \text{ g}), \\ n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} &= 1 \text{ kmol} && (\text{με μάζα } 46,08 \text{ kg}). \end{aligned}$$

Είναι γνωστό ότι κάθε φυσικό μέγεθος εκφράζεται από το γινόμενο της αριθμητικής του τιμής επί την αντίστοιχη μονάδα του. Έτσι, όταν η μοριακή μάζα  $M(X)$  μιας οντότητας X εκφράζεται με την ακριβή της μονάδα  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , τότε η αριθμητική της τιμή ταυτίζεται με τη σχετική ατομική μάζα  $A_r(X)$  ή τη σχετική μοριακή μάζα  $M_r(X)$  της οντότητας X. Για παράδειγμα:

$$\begin{aligned} M(\text{Ca}^{2+}) &= 40,08 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, & A_r(\text{Ca}^{2+}) &= 40,08, \\ M(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 105,99 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, & M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 105,99. \end{aligned}$$



## 1.2. Περιεχόμενο Αναλυτικής Χημείας

Όταν ένα τελείως άγνωστο δείγμα δίνεται για ανάλυση σ' έναν αναλυτικό χημικό, συνήθως, η πρώτη σκέψη του είναι να ανιχνεύσει ή να ταυτοποιήσει τα υπάρχοντα συστατικά του δείγματος. Επίσης πολλές φορές ζητείται να βρεθεί ποιες προσμίξεις συνοδεύουν ένα γνωστό δείγμα ή να επιβεβαιωθεί η απουσία μιας συγκεκριμένης πρόσμιξης σ' ένα δείγμα. Η λύση τέτοιων προβλημάτων αποτελεί το αντικείμενο της *Ποιοτικής Ανάλυσης*.

Έχοντας ανιχνεύσει ή ταυτοποιήσει τα συστατικά του δείγματος, ο αναλυτής στη συνέχεια συχνά καλείται να προσδιορίσει την ποσοτική αναλογία κάθε συστατικού ή συγκεκριμένων συστατικών στο δείγμα. Ο προσδιορισμός των ποσοτήτων των επιμέρους συστατικών του δείγματος αποτελεί τον πρωταρχικό αντικειμενικό σκοπό της *Ποσοτικής Ανάλυσης*.

Είναι φανερό ότι η ποιοτική ανάλυση πρέπει να προηγείται της ποσοτικής ανάλυσης. Πρέπει κανείς να προσφεύγει στην ποιοτική ανάλυση, ακόμη και όταν είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η εκατοστιαία περιεκτικότητα ενός συγκεκριμένου συστατικού γνωστού δείγματος, γιατί δεν είναι δυνατό να επιλεχτεί η κατάλληλη μέθοδος προσδιορισμού του συστατικού, όταν είναι άγνωστη η ταυτότητα των στοιχείων ή των ιόντων που συνυπάρχουν στο δείγμα.

Η Ποιοτική και Ποσοτική Ανάλυση διαιρούνται σε *Ανόργανη Ποιοτική* ή *Ποσοτική Ανάλυση* και σε *Οργανική Ποιοτική* ή *Ποσοτική Ανάλυση*, όταν οι ενώσεις που εξετάζονται είναι ανόργανες ή οργανικές, αντιστοίχως.

## 1.3. Μέθοδοι χημικής ανάλυσης

Η Ποιοτική Ανάλυση είναι *Στοιχειακή* ή *Μοριακή*. Με την *Ποιοτική Στοιχειακή Ανάλυση* ανιχνεύονται τα στοιχεία ή τα ιόντα από τα οποία αποτελείται το δείγμα, αλλά δεν είναι πάντοτε δυνατή η εύρεση των ουσιών που αρχικώς υπάρχουν στο δείγμα. Π.χ. κατά την ανάλυση δείγματος που αποτελείται από  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{PbCl}_2$  και  $\text{NaClO}_3$  γίνεται η ανίχνευση των ιόντων  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{ClO}_3^-$  και  $\text{NO}_3^-$ , αλλά δε συμπεραίνεται ότι η αρχική ένωση του μολύβδου είναι:  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{ClO}_3)_2$  ή  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ . Ομοίως, για το στοιχείο χλώριο, ενώ ανιχνεύεται με τη μορφή των ιόντων  $\text{Cl}^-$  και  $\text{ClO}_3^-$ , δεν είναι δυνατό να συμπεράνει κανείς με ποιο ή ποια από τα τρία κατιόντα ήταν ενωμένα τα παραπάνω ιόντα στο αρχικό δείγμα. Η άμεση ταυτοποίηση των ουσιών που υπάρχουν αρχικώς στο δείγμα γίνεται με την *Ποιοτική Μοριακή Ανάλυση*.

Οι κυριότερες μέθοδοι της Ποιοτικής Στοιχειακής Ανάλυσης είναι: η *Υγροχημική Ανάλυση*, οι *Σταγονοδοκμασίες*, η *Πυροχημική Ανάλυση*, η *Φασματοσκοπία Εκπομπής*, η *Φλογοφωτομετρία*, ο *Φθορισμός με Ακτίνες X*, η *Χρωματογραφία*, η *Πολαρογραφία* και η *Ανάλυση με Ενεργοποίηση Νετρονίων*.

Οι κυριότερες μέθοδοι της Ποιοτικής Μοριακής Ανάλυσης είναι: η *Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού*, η *Φασματοσκοπία Μοριακής Απορρόφησης*, η *Φασματοσκοπία Μάζας*, η *Ανάλυση με Περίθλαση των Ακτίνων X*, οι *Σταγονοδοκμασίες* και η *Χρωματογραφία*.

Η Ποσοτική Ανάλυση είναι επίσης *Στοιχειακή* ή *Μοριακή*. Με την *Ποσοτική Στοιχειακή Ανάλυση* προσδιορίζεται η αναλογία των διάφορων στοιχείων στο δείγμα και με την *Ποσοτική Μοριακή Ανάλυση* επιπροσθέτως προσδιορίζονται ποιες δραστικές ομάδες υπάρχουν σ' ένα μείγμα, ποιες δραστικές ομάδες υπάρχουν στο μόριο και ποια είναι η διάταξη αυτών στο χώρο. Αυτό σημαίνει ότι με τη μέθοδο αυτή εξάγονται επιπλέον πληροφορίες, ώστε να είναι τελικά δυνατός ο πλήρης χαρακτηρισμός του δείγματος.

#### **1.4. Εφαρμογές Αναλυτικής Χημείας**

Η Αναλυτική Χημεία παρουσιάζει τεράστια επιστημονική και πρακτική σημασία και αποτελεί έναν από τους πλέον ενδιαφέροντες κλάδους της εφαρμοσμένης χημείας, για τη μελέτη των ενώσεων και των μεταβολών που παρουσιάζουν αυτές. Επίσης είναι γνωστός ο σημαντικός ρόλος της σε τομείς της επιστήμης που συνδέονται με τη χημεία, όπως: η *Ορυκτολογία*, η *Γεωλογία*, η *Φυσιολογία*, η *Μικροβιολογία*, η *Ιατρική*, η *Κλινική Χημεία*, η *Φαρμακευτική Χημεία* και η *Περιβαλλοντική Χημεία*.

Ένας ερευνητής οφείλει να χρησιμοποιεί μεθόδους της Αναλυτικής Χημείας σχεδόν σε κάθε επιστημονική έρευνα που έχει σχέση με χημικά φαινόμενα. Η σημασία της χημικής ανάλυσης είναι τεράστια στην εθνική οικονομία κάθε χώρας. Έτσι οι περισσότερες εταιρείες βιομηχανικών προϊόντων βασίζονται στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση, ώστε να μπορούν να ελέγχουν, αν οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες πληρούν ορισμένες προδιαγραφές, και ακόμη να ελέγχουν την ποιότητα των τελικών προϊόντων που μπορεί να είναι: φάρμακα, τρόφιμα, αγροτικά προϊόντα, λιπάσματα, χρήσιμα ορυκτά, συνθετικά προϊόντα κτλ.

#### **1.5. Βασικές Θεωρητικές Αρχές Αναλυτικής Χημείας**

Για την άρτια εκτέλεση μιας ανάλυσης είναι απαραίτητη η γνώση και η κατα-

νόηση των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των ουσιών με τις οποίες εκτελούνται οι διάφορες δοκιμασίες, καθώς επίσης και η απόκτηση εργαστηριακής επιδεξιότητας.

Εξίσου όμως σημαντική και απαραίτητη είναι η γνώση των θεωρητικών αρχών της Αναλυτικής Χημείας, οι οποίες περιγράφουν και εξηγούν τη συμπεριφορά των διάφορων ουσιών. Πιστεύεται ότι η βαθειά γνώση των αρχών αυτών αποτελεί το μοναδικό δρόμο απόκτησης του αληθινού πνεύματος της Αναλυτικής Χημείας. Κατά συνέπεια το πρώτο μέρος του βιβλίου είναι αφιερωμένο στην ανάπτυξη και εκτεταμένη συζήτηση των θεωρητικών αρχών που βρίσκουν εφαρμογή στη χημική ανάλυση. Οι θεωρητικές αρχές που περιγράφονται αναφέρονται στις εξής έννοιες: *διαλύματα, διαλυτότητα ουσιών και συγκέντρωση διαλυμάτων· ταχύτητα αντίδρασης και χημική ισορροπία· ισορροπίες ασθενών οξέων και βάσεων· ετερογενής χημική ισορροπία και γινόμενο διαλυτότητας· ισορροπίες σύμπλοκων ιόντων.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

# ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ. ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΟΥΣΙΩΝ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

### 2.1. Διαλύματα

*Διαλύματα ονομάζονται τα ομογενή μονοφασικά συστήματα δύο ή περισσότερων χημικών ουσιών, τα οποία έχουν την ίδια χημική σύσταση και τις ίδιες ιδιότητες σε οποιοδήποτε μέρος τους.*

Η σύσταση ενός διαλύματος μπορεί να ποικίλλει μέσα σε εκτεταμένα όρια, γι' αυτό και τα διαλύματα κατατάσσονται στα *μείγματα*, σε αντίθεση με τις *χημικές ενώσεις*, οι οποίες έχουν ορισμένη σταθερή σύσταση.

Τα διαλύματα αναλόγως με τη φάση τους (αέρια, υγρή, στερεή) ταξινομούνται σε *αέρια, υγρά και στερεά διαλύματα*.

*Μια ουσία που διαλύεται σε μια άλλη ονομάζεται διαλυμένη ουσία, ενώ η ουσία στην οποία διαλύθηκε η διαλυμένη ουσία ονομάζεται διαλύτης. Ως διαλύτης χαρακτηρίζεται η ουσία που βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα μέσα στο διάλυμα, ενώ ως διαλυμένη ουσία εκείνη που βρίσκεται σε μικρότερη ποσότητα. Στην περίπτωση όμως που το ένα συστατικό του διαλύματος είναι υγρό και το άλλο στερεό ή αέριο, θεωρείται διαλύτης πάντοτε το υγρό συστατικό, ανεξαρτήτως από την αναλογία του στο διάλυμα.*

Οι διάφορες ουσίες διακρίνονται σε: *ευδιάλυτες και δυσδιάλυτες ή αδιάλυτες.*

*Ευδιάλυτες ουσίες ονομάζονται οι ουσίες που διαλύονται άφθονα σ' ένα διάλυμα, ενώ δυσδιάλυτες ή αδιάλυτες εκείνες που διαλύονται ελάχιστα σ' ένα διαλύτη.*

*Διαλυτότητα ουσίας ονομάζεται η συγκέντρωση κορεσμένου διαλύματός της σε ορισμένη θερμοκρασία.*

Η διαλυτότητα μιας ουσίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως π.χ. πίεση, μέγεθος σωματιδίων, φύση διαλύτη και διαλυμένης ουσίας, θερμοκρασία κτλ. Οι πα-

ράγοντες αυτοί θα αναφερθούν λεπτομερώς στο κεφάλαιο της ετερογενούς ισορροπίας και του γινομένου διαλυτότητας.

Ένα διάλυμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως *κορεσμένο, ακόρεστο και υπέρκορο*.

*Κορεσμένο* χαρακτηρίζεται εκείνο το διάλυμα το οποίο περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα διαλυμένης ουσίας που προβλέπεται θερμοδυναμικά σε δεδομένη θερμοκρασία και πίεση. Παρασκευάζεται έτσι, ώστε να βρίσκεται σε ισορροπία με ποσότητα αδιάλυτης ουσίας.

*Ακόρεστο* χαρακτηρίζεται το διάλυμα το οποίο περιέχει μικρότερη ποσότητα διαλυμένης ουσίας απ' αυτήν που απαιτείται, για να προκύψει κορεσμένο διάλυμα στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Στο διάλυμα αυτό μπορεί να διαλυθεί επιπλέον ποσότητα της ουσίας.

*Υπέρκορο* χαρακτηρίζεται το διάλυμα το οποίο περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα διαλυμένης ουσίας απ' αυτήν που απαιτείται, για να προκύψει κορεσμένο διάλυμα στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Τα διαλύματα αυτά είναι ασταθή και μεταπίπτουν εύκολα σε κορεσμένα.

Στην Αναλυτική Χημεία ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα υγρά διαλύματα και ο όρος “διάλυμα”, όταν αναφέρεται χωρίς ιδιαίτερες εξηγήσεις, περιορίζεται, συνήθως, στα υγρά διαλύματα. Επίσης, όταν δεν αναφέρεται η φύση του διαλύτη, εννοείται ότι πρόκειται για υδατικό διάλυμα. Στην πραγματικότητα στις περισσότερες διεργασίες μιας ανάλυσης χρησιμοποιούνται τα υδατικά διαλύματα.

## 2.2. Τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης διαλυμάτων

*Συγκέντρωση ποσότητας ουσίας (amount-of-substance concentration)* ή απλά *συγκέντρωση (concentration)*,  $c$ , ορίζεται ως η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας (εκφράζεται σε μάζα ή σε όγκο) σε μία ορισμένη ποσότητα διαλύτη ή διαλύματος, που μπορεί επίσης να εκφραστεί σε μάζα ή σε όγκο. Επομένως οι εκφράσεις της συγκέντρωσης διακρίνονται σε συγκεντρώσεις μάζας διαλυμένης ουσίας (g, mg, mol...) ανά όγκο διαλύματος (L, mL...), και σε συγκεντρώσεις μάζας διαλυμένης ουσίας ανά μάζα διαλύτη ή διαλύματος (π.χ. 1 kg).

Οι κυριότεροι τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης είναι οι παρακάτω:

**1) Συγκέντρωση ποσότητας ουσίας εκφραζόμενη ως αριθμός των moles της ουσίας ανά όγκο διαλύματος.** Κατά την IUPAC εξακολουθεί να επιτρέπεται η χρήση του όρου “μοριακή συγκέντρωση” (*molar concentration*), αντί της προτεινόμενης έκφρασης “συγκέντρωση ποσότητας ουσίας”.

Η μονάδα συγκέντρωσης ποσότητας ουσίας στο σύστημα SI είναι το  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ , αλλά οι πρακτικές μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι:  $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  ή  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , με σύμβολο  $M$ , που ανταποκρίνεται στον επιτρεπόμενο όρο “μοριακή συγκέντρωση”. Οι δύο αυτές μονάδες είναι ταυτόσημες, γιατί το 1 L επανακαθορίστηκε και είναι ίσο με  $1 \text{ dm}^3$ . Επίσης η συγκέντρωση εκφράζεται και σε  $\text{mmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

Για κάθε διάλυμα οντότητας ή ουσίας X ισχύουν οι εξισώσεις:

$$c_X = \frac{n_X \text{ (αριθμός των moles της διαλυμένης ουσίας X)}}{V \text{ (λίτρα διαλύματος)}}, \quad (2-1)$$

$$c_X = \frac{n_X \text{ (αριθμός των mmoles της διαλυμένης ουσίας X)}}{V \text{ (χιλιοστόλιτρα διαλύματος)}} \quad (2-2)$$

Οι εξισώσεις αυτές, με βάση την εξίσωση (1-1),

$$n_X = \frac{m_X}{M(X)} \quad (1-1)$$

μετασχηματίζονται στη γενική εξίσωση

$$c_X = \frac{m_X}{M(X)V}. \quad (2-3)$$

Στην εξίσωση αυτή η συγκέντρωση της ουσίας X εκφράζεται σε  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ή  $\text{mmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ , όταν η μάζα της ουσίας εκφράζεται σε g ή mg, η μοριακή της μάζα σε  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ή  $\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}$  και ο όγκος του διαλύματος σε L ή mL αντιστοίχως.

Η συγκέντρωση μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, γιατί ο όγκος του διαλύματος μεταβάλλεται μ' αυτήν. Επομένως η συγκέντρωση πρέπει να αναφέρεται σε ορισμένη θερμοκρασία.

Οι εξισώσεις (2-1) και (2-2) μετασχηματίζονται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$n_X = c_X \cdot V_{(L)} \text{ mol}, \quad (2-4)$$

$$n_X = c_X \cdot V_{(\text{mL})} \text{ mmol}. \quad (2-5)$$

Οι εξισώσεις αυτές χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην Αναλυτική Χημεία στις παρακάτω περιπτώσεις:

α) Όταν γίνεται ανάμειξη διαλυμάτων της ίδιας ουσίας ή ουσιών που δεν αντιδρούν μεταξύ τους, όπως π.χ. κατά την ανάμειξη διαλυμάτων διάφορων οξέων ή βάσεων. Αν τα αρχικά διαλύματα έχουν όγκους  $V_1, V_2, \dots$  και συγκεντρώσεις  $c_1, c_2, \dots$  αντιστοίχως, και το τελικό διάλυμα έχει όγκο  $V$  και συγκέντρωση  $c$ , τότε ισχύει η

εξίσωση

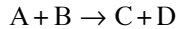
$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 + \dots = c \cdot V. \quad (2-6)$$

Όταν ένα διάλυμα με όγκο  $V_1$  και συγκέντρωση  $c_1$  με προσθήκη ενός διαλύτη αραιώνεται ή με απομάκρυνση ενός διαλύτη συμπυκνώνεται και μετατρέπεται σε διάλυμα με όγκο  $V_2$  και συγκέντρωση  $c_2$ , τότε ισχύει η εξίσωση

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2. \quad (2-7)$$

Η ισχύς των εξισώσεων (2-6) και (2-7) βασίζεται στο γεγονός ότι ο αριθμός των moles ή mmoles των ουσιών που αναμειγνύονται ή αραιώνονται είναι ίδιος και στο τελικό διάλυμα, απλά εκείνο που μεταβάλλεται είναι η συγκέντρωσή τους, εξαιτίας της μεταβολής του όγκου.

β) Σε μια στοιχειομετρική αντίδραση της μορφής,

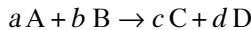


όπου οι ουσίες A και B αντιδρούν με αναλογία moles ή mmoles 1:1, ο αριθμός των moles ή mmoles της ουσίας A θα είναι ίσος με τον αριθμό των moles ή mmoles της ουσίας B:

$$c_A \cdot V_{A(L)} = c_B \cdot V_{B(L)}, \quad (2-8)$$

$$c_A \cdot V_{A(mL)} = c_B \cdot V_{B(mL)}. \quad (2-9)$$

γ) Σε μια στοιχειομετρική αντίδραση της μορφής,



όπου οι ουσίες A και B αντιδρούν με αναλογία moles ή mmoles  $a:b$ , ισχύουν οι εξισώσεις:

$$c_A \cdot V_{A(L)} = c_B \cdot V_{B(L)} \cdot \frac{a}{b}, \quad (2-10)$$

$$c_A \cdot V_{A(mL)} = c_B \cdot V_{B(mL)} \cdot \frac{a}{b}. \quad (2-11)$$

**2) Μοριακή συγκέντρωση ανά μάζα διαλύτη,  $m$  (Molality).** Ορίζεται ως ο αριθμός των moles μιας ουσίας ανά μάζα διαλύτη.

Μονάδα της συγκέντρωσης αυτής στο σύστημα SI είναι το  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Για κάθε διάλυμα ισχύει η εξίσωση

$$m_X = \frac{n_X (\text{αριθμός των moles της διαλυμένης ουσίας X})}{m (\text{χιλιόγραμμα διαλύτη})} . \quad (2-12)$$

Η συγκέντρωση αυτή είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για μετρήσεις υψηλής ακρίβειας ιδιαίτερος στη Φυσικοχημεία και μάλιστα για τη μελέτη των προσθετικών ιδιοτήτων των διαλυμάτων.

**3) Συγκέντρωση σε μοριακά κλάσματα,  $X$  (mole fraction).** Το μοριακό κλάσμα ενός συστατικού, διαλυμένη ουσία ή διαλύτης, σ' ένα διάλυμα είναι ο λόγος του αριθμού των moles του συστατικού προς τον ολικό αριθμό των moles όλων των συστατικών που υπάρχουν στο διάλυμα. Π.χ. αν  $n_1$  είναι ο αριθμός των moles του διαλύτη και  $n_2, n_3$  είναι οι αριθμοί των moles των διαλυμένων ουσιών 2 και 3, τότε το μοριακό κλάσμα του διαλύτη είναι

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} \quad (2-13)$$

και το μοριακό κλάσμα της διαλυμένης ουσίας 2 είναι

$$X_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} . \quad (2-14)$$

Το άθροισμα των μοριακών κλασμάτων όλων των συστατικών του διαλύματος είναι πάντοτε ίσο με τη μονάδα

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots = 1 .$$

**4) Εκατοστιαία κατά μάζα σύσταση, %  $m/m$ .** Εκφράζει τα γραμμάρια της διαλυμένης ουσίας σε 100 γραμμάρια διαλύματος. Π.χ. διάλυμα 3 %  $m/m$   $H_2O_2$  θα περιέχει 3 g  $H_2O_2$  σε 100 g διαλύματος ή 3 g  $H_2O_2$  αναμειγνύονται με 97 g διαλύτη. Σημειώνεται ότι οι μάζες της διαλυμένης ουσίας και του διαλύτη είναι προσθετικές. Η εκατοστιαία κατά μάζα σύσταση είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία. Για να ληφθεί ορισμένη μάζα διαλυμένης ουσίας, απαιτείται είτε ζύγιση ορισμένης ποσότητας διαλύματος είτε, αν είναι γνωστή η πυκνότητα του διαλύματος, μέτρηση ορισμένου όγκου διαλύματος. Η μάζα  $m$  της διαλυμένης ουσίας X, σε g, ο όγκος  $V$  του διαλύματος σε mL, η πυκνότητα  $d$  του διαλύματος σε  $g \cdot mL^{-1}$ , και η εκατοστιαία κατά μάζα σύστασή της συνδέονται με την εξίσωση

$$m_X = V \cdot d \cdot \frac{\% X}{100} . \quad (2-15)$$

**5) Εκατοστιαία κατ' όγκο σύσταση, %  $V/V$ .** Εκφράζει τα χιλιοστόλιτρα



της διαλυμένης ουσίας σε 100 χιλιοστόλιτρα διαλύματος. Π.χ. διάλυμα 3 % V/V H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> σημαίνει ότι 3 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> αραιώνονται σε συνολικό όγκο 100 mL διαλύματος. Επειδή κατά την ανάμειξη H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> με ένα διαλύτη, εξαιτίας του φαινομένου της επι-διαλύτωσης, προκαλείται μεταβολή του όγκου του διαλύματος, δεν είναι δυνατό να ληφθεί ακριβές διάλυμά του. Για παράδειγμα δεν μπορεί να ληφθεί διάλυμα 3% V/V, με ανάμειξη 3 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> και 97 mL διαλύτη. Στην πραγματικότητα συμβαίνει διαστολή ή συστολή του όγκου του τελικού διαλύματος και η έκτασή της εξαρτάται από τη φύση της διαλυμένης ουσίας, καθώς επίσης και από τη φυσική της κατάσταση (στερεή, υγρή ή αέρια).

Η εκατοστιαία κατ' όγκο σύσταση χρησιμοποιείται *μόνο* για την περίπτωση μεί-ξης υγρών.

**6) Εκατοστιαία μάζα κατ' όγκο σύσταση, % m/V.** Εκφράζει τα γραμμάρια της διαλυμένης ουσίας σε 100 χιλιοστόλιτρα διαλύματος. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται, κυρίως, για την έκφραση της συγκέντρωσης αραιών διαλυμάτων στερεών αντιδραστηρίων.

**7) Γραμμάρια διαλυμένης ουσίας σε 1 λίτρο διαλύματος, g · L<sup>-1</sup>.** Η μονάδα αυτή βρίσκει πολλές εφαρμογές ειδικά στη βιομηχανία. Στην Αναλυτική Χημεία χρησιμοποιείται *μόνο*, για να εκφράσει διαλυτότητες.

**8) Χιλιοστόγραμμα διαλυμένης ουσίας σε 1 χιλιοστόλιτρο διαλύματος ή τίτλος διαλύματος, T, mg · mL<sup>-1</sup>.** Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται συχνά στην Αναλυτική Χημεία για την έκφραση της συγκέντρωσης πρότυπων διαλυμάτων, δηλαδή διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης. Ο τίτλος ενός διαλύματος είναι *η ποσότητα ουσίας που προσδιορίζεται, σε mg, και η οποία αντιδρά με 1 mL του πρότυπου διαλύματος*. Ισχύει η εξίσωση

$$T(\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}) = M(\text{mmol} \cdot \text{mL}^{-1}) M(X) (\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}), \quad (2-16)$$

όπου  $M$  είναι η μοριακή συγκέντρωση του πρότυπου διαλύματος και  $M(X)$  η μοριακή μάζα της προσδιοριζόμενης ουσίας.

**9) Μέρη ανά εκατομμύριο (parts per million), ppm.** Εκφράζει τα μέρη μάζας της διαλυμένης ουσίας σε 10<sup>6</sup> μέρη μάζας (ή όγκου, αν η πυκνότητα είναι  $d = 1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) διαλύματος. Οι συνηθισμένες διαστάσεις της μονάδας αυτής είναι

$$1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \quad \text{ή} \quad 1 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \quad \text{ή} \quad 1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} .$$

Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται για την έκφραση ελάχιστων συγκεντρώσεων.

**10) Μέρη ανά δισεκατομμύριο (parts per billion), ppb.** Εκφράζει τα μέρη

μάζας της διαλυμένης ουσίας σε  $10^9$  μέρη μάζας (ή όγκου, αν η πυκνότητα είναι  $d = 1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) διαλύματος. Οι συνηθισμένες διαστάσεις της μονάδας αυτής είναι

$$1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1} \quad \text{ή} \quad 1 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1} .$$

Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται για την έκφραση ακόμη μικρότερων συγκεντρώσεων.

### Λυμένα προβλήματα

**1)** Έστω ότι αναμειγνύονται 300 mL διαλύματος 0,1 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  και 200 mL διαλύματος 0,2 M  $\text{BaCl}_2$ . Να βρεθεί ο αριθμός των moles κάθε ιόντος που παραμένει ελεύθερος στο τελικό διάλυμα. Η διάσταση του ιζήματος θεωρείται αμελητέα.

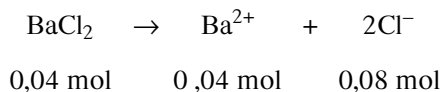
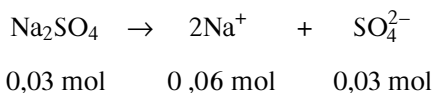
#### Λύση

Πριν από την ανάμειξη, ο αρχικός αριθμός των moles του  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  και του  $\text{BaCl}_2$  είναι αντιστοίχως:

$$n_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = c_{\text{Na}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,3 \text{ L} = 0,03 \text{ mol} ,$$

$$n_{\text{BaCl}_2} = c_{\text{BaCl}_2} \cdot V_{\text{BaCl}_2} = 0,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,2 \text{ L} = 0,04 \text{ mol} .$$

Τα άλατα  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  και  $\text{BaCl}_2$  είναι ισχυροί ηλεκτρολύτες και διίστανται πλήρως:



Σύμφωνα με τις εξισώσεις αυτές, ο αριθμός των moles των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  είναι:

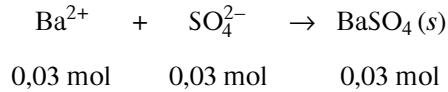
$$n_{\text{Na}^+} = \mathbf{0,06} \text{ mol},$$

$$n_{\text{Cl}^-} = \mathbf{0,08} \text{ mol} .$$

Ο ίδιος αριθμός moles των ιόντων αυτών παραμένει ελεύθερος στο τελικό διάλυμα, γιατί τα ιόντα αυτά δεν αντιδρούν μεταξύ τους.

Κατά τη στιγμή της ανάμειξης των διαλυμάτων  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  και  $\text{BaCl}_2$ , γίνεται αντί-

δραση μεταξύ των ιόντων  $\text{Ba}^{2+}$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ :



Από την εξίσωση αυτή φαίνεται ότι ο αρχικός αριθμός των moles των ιόντων  $\text{SO}_4^{2-}$  δεσμεύεται πλήρως, ενώ υπάρχει περίσσεια ιόντων  $\text{Ba}^{2+}$  ίση με

$$n_{\text{Ba}^{2+}} = 0,04 \text{ mol} - 0,03 \text{ mol} = \mathbf{0,01 \text{ mol}} .$$

Άρα ο αριθμός των moles κάθε ιόντος που παραμένει ελεύθερος στο τελικό διάλυμα είναι:

$$n_{\text{Na}^+} = \mathbf{0,06 \text{ mol}} ,$$

$$n_{\text{Cl}^-} = \mathbf{0,08 \text{ mol}} ,$$

$$n_{\text{Ba}^{2+}} = \mathbf{0,01 \text{ mol}} .$$

**2)** Πόση μάζα, σε g,  $\text{BaCl}_2$  απαιτείται για την παρασκευή 250 mL διαλύματος 0,5 M και πόσος όγκος, σε mL, διαλύματος 1,5 M  $\text{AgNO}_3$  απαιτείται για την πλήρη καταβύθιση των ιόντων  $\text{Cl}^-$ , τα οποία περιέχονται σε 21 mL του παραπάνω διαλύματος του  $\text{BaCl}_2$ ; Δίνονται:  $A_r(\text{Ba}) = 137,33$ ,  $A_r(\text{Cl}) = 35,45$ .

### Λύση

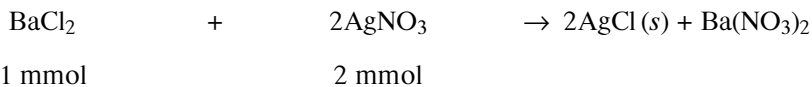
Η μάζα του  $\text{BaCl}_2$ , σε g, που απαιτείται για την παρασκευή 250 mL διαλύματος 0,5 M υπολογίζεται από την εξίσωση

$$c_{\text{BaCl}_2} = \frac{m_{\text{BaCl}_2}}{M(\text{BaCl}_2)V} ,$$

οπότε

$$m_{\text{BaCl}_2} = c_{\text{BaCl}_2} \cdot M(\text{BaCl}_2)V = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 208,23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 0,25 \text{ L} = \mathbf{26,0288 \text{ g}} .$$

Το  $\text{BaCl}_2$  αντιδρά με το  $\text{AgNO}_3$ :



$$0,5 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 21 \text{ mL} \quad 1,5 \text{ mol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot V_{\text{AgNO}_3}$$

Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι

$$\frac{1 \text{ mmol}}{0,5 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 21 \text{ mL}} = \frac{2 \text{ mmol}}{1,5 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot V_{\text{AgNO}_3}},$$

οπότε

$$V_{\text{AgNO}_3} = \frac{2 \text{ mmol} \cdot 0,5 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 21 \text{ mL}}{1,5 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 1 \text{ mmol}} = \mathbf{14 \text{ mL}}.$$

**3)** Ποιος όγκος, σε mL, πυκνού διαλύματος 95 % *m/m* H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και πυκνότητας  $d = 1,84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  απαιτείται για την παρασκευή 100 mL διαλύματος 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; Δίνονται:  $A_r(\text{H}) = 1,01$ ,  $A_r(\text{O}) = 16,00$ ,  $A_r(\text{S}) = 32,07$ .

### Λύση

Η μοριακή μάζα του H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> είναι  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Η μάζα διαλύματος 95 % *m/m* H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, σε g, πυκνότητας  $d = 1,84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  που περιέχεται σε όγκο διαλύματος  $V = 1000 \text{ mL}$  είναι

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = V \cdot d \cdot \frac{\% \text{ H}_2\text{SO}_4}{100} = 1000 \text{ mL} \cdot 1,84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \frac{95}{100} = 1748 \text{ g}.$$

Ο αριθμός των moles του H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> στο διάλυμα αυτό είναι

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1748}{98,09} \cdot \frac{\text{g}}{\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 17,82 \text{ mol},$$

και επομένως η συγκέντρωσή του είναι

$$c_1 = 17,82 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Έστω ότι απαιτούνται  $V_1 \text{ mL}$  διαλύματος 95 % *m/m* H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και συγκέντρωσης  $c_1 = 17,82 \text{ M}$ , για να παρασκευαστεί με αραιώση διάλυμα όγκου  $V = 100 \text{ mL}$  και συγκέντρωσης  $c = 0,1 \text{ M}$ . Επειδή κατά την αραιώση ο αριθμός των mmoles του H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> είναι ίδιος μ' αυτόν του τελικού διαλύματος, θα ισχύει η εξίσωση

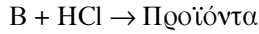
$$c_1 \cdot V_1 = c \cdot V,$$

οπότε

$$V_1 = \frac{c \cdot V}{c_1} = \frac{0,1 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 100 \text{ mL}}{17,82 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1}} = \mathbf{0,56 \text{ mL}}.$$

**4)** Δείγμα άγνωστης βάσης, μάζας 5,2935 g, διαλύεται σε συνολικό όγκο 250 mL υδατικού διαλύματος. Στη συνέχεια λαμβάνονται 50 mL του διαλύματος και για την εξουδετέρωσή τους απαιτούνται 27,7 mL διαλύματος 0,21 M HCl, σύμφωνα με την

εξίσωση της αντίδρασης:



Να βρεθεί η σχετική μοριακή μάζα  $M_r(B)$  της βάσης.

### Λύση

Έστω B η βάση με σχετική μοριακή μάζα  $M_r(B)$  και μοριακή μάζα  $M(B) \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Από το συνολικό όγκο των 250 ml του υδατικού διαλύματος λαμβάνονται 50 mL, δηλαδή το  $1/5$  της συνολικής μάζας της βάσης

$$m_B = \frac{5,2935}{5} \text{ g} = 1,0587 \text{ g} .$$

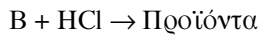
Ο αριθμός των moles της βάσης που αντιστοιχούν στην ποσότητα αυτή είναι

$$n_B = \frac{1,0587 \text{ g}}{M(B)} .$$

Ο αριθμός των moles του HCl που καταναλώνονται για την εξουδετέρωση της βάσης είναι

$$n_{HCl} = c_{HCl} \cdot V_{HCl} = 0,21 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,0277 .$$

Σύμφωνα με την εξίσωση της αντίδρασης,



ο αριθμός των moles της βάσης B θα είναι ίσος με τον αριθμό των moles του HCl

$$n_B = n_{HCl} \quad \text{ή} \quad \frac{1,0587 \text{ g}}{M(B)} = 0,21 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,0277 \text{ L} \quad \text{και} \quad M(B) = 182 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} .$$

Όταν η μοριακή μάζα  $M(B)$  εκφράζεται σε  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , τότε η αριθμητική της τιμή είναι η σχετική μοριακή μάζα  $M_r(B)$ . Άρα

$$M_r(B) = \mathbf{182} .$$

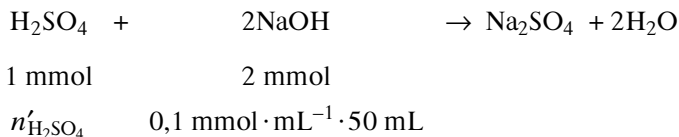
**5)** Ποιος όγκος, σε mL, διαλύματος 0,1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  πρέπει να προστεθεί σε 50 mL διαλύματος 0,1 M NaOH, ώστε το διάλυμα που λαμβάνεται να είναι 0,05 M σε  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

### Λύση

Έστω προσθέτονται  $V_{(\text{ml})}$  διαλύματος 0,1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Ο αριθμός των mmoles του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  που προσθέτονται στο διάλυμα του NaOH ισούται με

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = c_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,1 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot V .$$

Ένα μέρος των mmoles του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  εξουδετερώνεται, σύμφωνα με την εξίσωση της αντίδρασης,



οπότε δεσμεύονται  $n'_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1 \text{ mmol} \cdot 0,1 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot 50 \text{ mL}}{2 \text{ mmol}} = 2,5 \text{ mmol} .$

Ο τελικός όγκος του διαλύματος του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  είναι  $(50+V)$  mL και η συγκέντρωσή του είναι  $0,05 \text{ M}$ , οπότε ο αριθμός των mmoles του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  στο διάλυμα αυτό είναι ίσος με

$$n''_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,05 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot (50 \text{ mL} + V) .$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, ισχύει η εξίσωση

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} - n'_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n''_{\text{H}_2\text{SO}_4} ,$$

οπότε

$$0,1 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot V - 2,5 \text{ mmol} = 0,05 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1} (50 \text{ mL} + V) \quad \text{και}$$

$$V = \frac{5 \text{ mmol}}{0,05 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1}} = \mathbf{100 \text{ mL}} .$$

### Άλυτα προβλήματα

**6)** Ποιος όγκος, σε mL, διαλύματος  $0,4 \text{ M Ba(OH)}_2$  πρέπει να προστεθεί σε  $50 \text{ mL}$  διαλύματος  $0,3 \text{ M NaOH}$ , ώστε στο διάλυμα που λαμβάνεται η τελική συγκέντρωση των ιόντων  $\text{OH}^-$  να είναι ίση με  $0,5 \text{ M}$ ;

(33,3 mL)

**7)** Αν προστεθεί  $1 \text{ mL}$  διαλύματος  $4 \text{ M HNO}_3$  σε ίζημα που αποτελείται από  $8,7 \text{ mg CdS}$  και  $5,2 \text{ mg Bi}_2\text{S}_3$ , να υπολογιστεί το ποσοστό του οξέος που θα καταναλωθεί για τη διαλυτοποίηση του ιζήματος. Δίνονται:  $A_r(\text{Cd})=112,41$ ,  $A_r(\text{S})=32,07$ ,  $A_r(\text{Bi}) = 208,98$ .

(6 %)

**8)** Ποιος όγκος, σε mL, διαλύματος 0,25 M Na<sub>2</sub>S απαιτείται ακριβώς για την πλήρη καταβύθιση των κατιόντων του αντιμονίου σε 25 mL διαλύματος 0,1 M SbCl<sub>3</sub>;

(15 mL)

**9)** Πόση μάζα, σε g, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> απαιτείται, για να παρασκευαστεί διάλυμα 250 mL, το οποίο να περιέχει την ίδια συγκέντρωση ιόντων SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> με διάλυμα που περιέχει 1,4205 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> σε 100 mL; Δίνονται: A<sub>r</sub>(Al) = 26,92, A<sub>r</sub>(S) = 32,07, A<sub>r</sub>(Na) = 22,99.

(2,8504 g)

**10)** Δίνεται διάλυμα 12 % m/m H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O πυκνότητας  $d = 1,051 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . Να υπολογιστούν: α) η μοριακή του συγκέντρωση. β) Ποιος όγκος, σε mL, διαλύματος 2 M KOH απαιτείται για την πλήρη εξουδετέρωση 27 mL διαλύματος του οξέος; Δίνονται: A<sub>r</sub>(C) = 12,01, A<sub>r</sub>(O) = 16,00, A<sub>r</sub>(H) = 1,01.

(α) 1 M, β) 27 mL)

**11)** Να υπολογιστεί η συγκέντρωση ενός διαλύματος που περιέχει 0,6041 g Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O σε 20 mL. Αν ο χαλκός καταβυθίζεται ποσοτικά με τη μορφή CuS, πόση μάζα, σε mg, ιζήματος προκύπτει από 2 mL του παραπάνω διαλύματος; Δίνονται: A<sub>r</sub>(Cu) = 63,55, A<sub>r</sub>(N) = 14,01, A<sub>r</sub>(O) = 16,00, A<sub>r</sub>(H) = 1,01.

(0,125 M, 23,9 mg)

**12)** 50 mL διαλύματος 0,12 M HCl προσθέτονται σε 40 mL διαλύματος KOH. Η περιόσσεια του οξέος εξουδετερώνεται με 24 mL διαλύματος 0,1 M NaOH. Να υπολογιστεί η μοριακή συγκέντρωση του διαλύματος του KOH.

(0,09 M)

**13)** Μία άγνωστη οργανική ένωση έχει στο μόριό της δύο σουλφονικές ομάδες, -SO<sub>3</sub>H, ενώ δεν υπάρχουν άλλες όξινες ή βασικές χαρακτηριστικές ομάδες. Δείγμα της ένωσης μάζας 0,3484 g διαλύεται στο νερό και το διάλυμα που προκύπτει εξουδετερώνεται με 26 mL διαλύματος 0,1 M NaOH. Να υπολογιστεί η σχετική μοριακή μάζα της ένωσης.

(268)

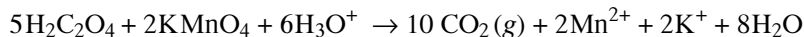
**14)** 0,2450 g ενός διπρωτικού οξέος απαιτούν για την πλήρη εξουδετέρωσή τους 50 ml διαλύματος 0,1 M NaOH. Να υπολογιστεί η σχετική μοριακή μάζα του οξέος.

(98)

**15)** Ποσότητα ουσίας  $M(OH)_2$  εξουδετερώνεται από 20 mL διαλύματος 1 M HCl. Το άλας που λαμβάνεται, μετά την εξάτμιση του διαλύματος, ζυγίζει 1,1100 g. Να υπολογιστούν η μάζα, σε g, και η σχετική μοριακή μάζα της ουσίας  $M(OH)_2$ . Δίνονται:  $A_r(Cl) = 35,45$ ,  $A_r(O) = 16,00$ ,  $A_r(H) = 1,01$ .

(0,7311 g , 73,11)

**16)** Το  $H_2C_2O_4$  αντιδρά με το  $KMnO_4$ , σύμφωνα με την ισοσταθμισμένη εξίσωση:



Επίσης το  $H_2C_2O_4$  αντιδρά με το NaOH. Ποιοι όγκοι, σε mL, διαλυμάτων 0,1 M NaOH και 0,1 M  $KMnO_4$  θα αντιδράσουν με 450,2 mg  $H_2C_2O_4$ ; Δίνονται:  $A_r(C) = 12,01$ ,  $A_r(H) = 1,01$ ,  $A_r(O) = 16,00$ .

(100 mL NaOH , 20 mL  $KMnO_4$ )

**17)** Ποια είναι η κατά μάζα αναλογία ανάμειξης των  $Na_2C_2O_4$  και  $KHC_2O_4 \cdot H_2C_2O_4$ , ώστε στο διάλυμα που προκύπτει κάθε γραμμάριο του μείγματος να αντιδρά με ίσους όγκους διαλυμάτων 0,1 M  $KMnO_4$  και 0,1 M NaOH; Δίνονται:  $A_r(Na) = 22,99$ ,  $A_r(K) = 39,10$ ,  $A_r(C) = 12,01$ ,  $A_r(O) = 16,00$ ,  $A_r(H) = 1,01$ .

(3,378)