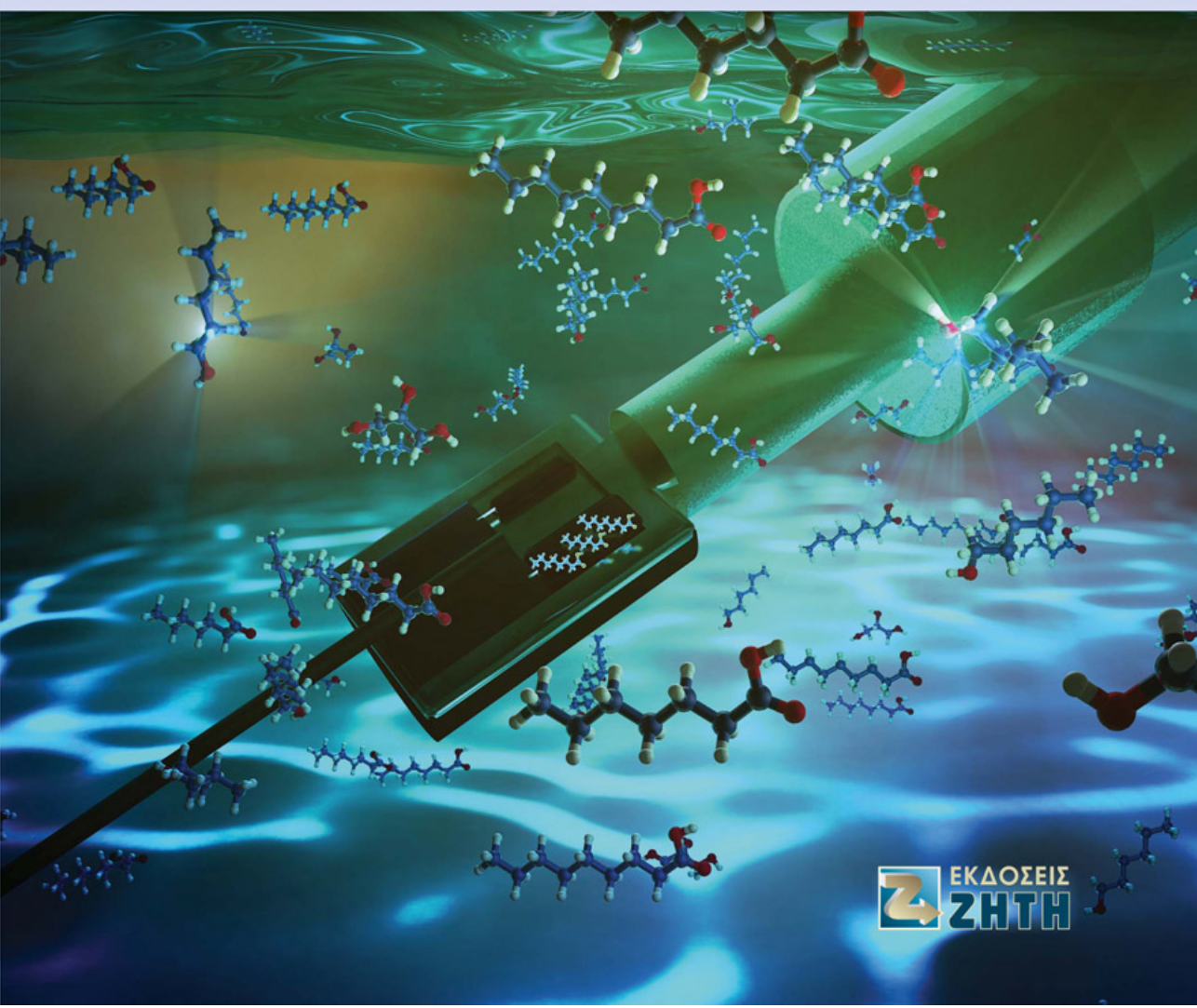


Δημήτριος Γ. Θεμελής • Αναστασία-Στέλλα Ζώτου

# Αναλυτική Χημεία



Κάθε γνήσιο αντίτυπο πρέπει να φέρει τις ιδιόχειρες υπογραφές των συγγραφέων  
Δημητρίου Γ. Θεμελή και Αναστασίας-Στέλλας Ζώτου

ISBN 978-960-456-484-2

© Copyright 2017, Δημήτριος Γ. Θεμελής, Αναστασία-Στέλλα Ζώτου

---

*Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευσή του συνόλου ή μέρους του έργου.*

---

**Φωτοστοιχειοθεσία**  
**Εκτύπωση**  
**Βιβλιοδεσία**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια Ι.Κ.Ε.**  
18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας  
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19  
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**www.ziti.gr**

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:**  
Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη  
Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΛΙΑΝΙΚΗ-ΧΟΝΔΡΙΚΗ:**  
Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα  
Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

**ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ:** [www.ziti.gr](http://www.ziti.gr)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό σχεδιάστηκε και γράφτηκε για τους φοιτητές των τμημάτων: Φαρμακευτικής, Βιολογίας, Γεωλογίας και Γεωπονίας, που παρακολουθούν το μάθημα της Ποσοτικής Αναλυτικής Χημείας, Κλασικής ή Ενόργανης. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και από οποιονδήποτε επιστήμονα που ασχολείται με τη χημική ανάλυση.

Το βιβλίο αποτελείται από 19 αυτόνομα κεφάλαια. Τα κεφάλαια 1-15 γράφτηκαν και επιμελήθηκαν από τον κ. Δημήτριο Γ. Θεμελή, Ομότιμο Καθηγητή Αναλυτικής Χημείας, στο Τμήμα Χημείας, του Α.Π.Θ. Τα κεφάλαια 16-19 γράφτηκαν και επιμελήθηκαν από την κ. Αναστασία-Στέλλα Ζώτου, Καθηγήτρια Αναλυτικής Χημείας, στο Τμήμα Χημείας, του Α.Π.Θ.

Η Αναλυτική Χημεία ασχολείται με τον χαρακτηρισμό της ύλης, σε ποιοτικό και ποσοτικό επίπεδο. Είναι σημαντικός ο ρόλος της σχεδόν σε κάθε πλευρά της ανθρώπινης δραστηριότητας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η Αναλυτική Χημεία αποκτά μεστό νόημα, αν κάποιος αντιληφθεί ότι μια ανάλυση αίματος παρέχει πληροφορίες που σώζουν τη ζωή ενός ασθενούς ή ο έλεγχος ποιότητας μιας αναλυτικής διαδικασίας εξασφαλίζει τη μη απώλεια χρημάτων σε μια βιομηχανία, εξαιτίας ενός ελλειμματικού προϊόντος.

Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην παρουσίαση τής ύλης, ώστε το βιβλίο αφενός να περιγράφει τις πλέον σύγχρονες απόψεις της επιστήμης της Αναλυτικής Χημείας στα κεφάλαια που πραγματεύεται και αφετέρου να είναι φιλικό προς τον αναγνώστη, να διαβάζεται εύκολα, ευχάριστα και να είναι ευκόλως κατανοητό.

Η παρουσιαζόμενη ύλη της Αναλυτικής Χημείας ταξινομείται σε τρεις ενότητες.

Στην πρώτη, που περιλαμβάνει τα κεφάλαια 1-11, αναφέρονται οι Αρχές της Αναλυτικής Χημείας, οι οποίες περιγράφουν και εξηγούν τη συμπεριφορά των διαφόρων ουσιών. Οι αρχές αυτές διακρίνονται σε βασικές και ειδικές. Οι βασικές αρχές διακρίνονται σε θεωρητικές και πρακτικές.

Οι θεωρητικές βασικές αρχές αναφέρονται στις εξής έννοιες: στοιχειώδη ορολογία της Αναλυτικής Χημείας, δηλαδή η «γλώσσα» της: χημικές αντιδράσεις και χημικές εξισώσεις· διαλύματα, διαλυτότητα ουσιών και συγκέντρωση διαλυμάτων· ταχύτητα αντίδρασης και χημική ισορροπία· ισορροπίες ασθενών οξέων και βά-

σεων· ετερογενής χημική ισορροπία και γινόμενο διαλυτότητας· ισορροπίες συμπλόκων ιόντων· στατική και χειρισμός αναλυτικών πειραματικών δεδομένων· χαρακτηρισμός και επικύρωση αναλυτικής μεθόδου.

Οι πρακτικές βασικές αρχές αναφέρονται στις εξής έννοιες: ασφάλεια εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας· χημικά αντιδραστήρια· λειτουργικότητα εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας.

Οι ειδικές αρχές αναφέρονται στις κλασικές και ενόργανες ποσοτικές τεχνικές χημικής ανάλυσης, όπως περιγράφονται στις πρώτες ενότητες των αντίστοιχων κεφαλαίων.

Η δεύτερη ενότητα, που περιλαμβάνει το κεφάλαιο 12, αναφέρεται στην κλασική ποσοτική ανάπτυξη αναλυτικών μεθόδων προσδιορισμού διάφορων αναλυτών σε διαλύματά τους, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω τιτλομετρικές τεχνικές: οξυμετρία· αλκαλιμετρία· αργυρομετρία· συμπλοκομετρία· μαγγανιομετρία· ιωδιομετρία. Για κάθε μέθοδο, αρχικώς γίνεται μια εκτεταμένη εισαγωγή, ώστε να είναι δυνατή η πληρέστερη κατανόησή της και να γίνεται με αρτιότητα η εκτέλεση κάθε ποσοτικού προσδιορισμού που αναφέρεται σ' αυτήν.

Στην τρίτη ενότητα, που περιλαμβάνει τα κεφάλαια 13-19 εισάγονται οι κυριότερες ενόργανες τεχνικές χημικής ανάλυσης, όπως: μοριακή φασματοσκοπία απορρόφησης υπεριώδους ορατού· ατομική φασματομετρία· αυτόματες τεχνικές χημικής ανάλυσης· διαχωριστικές τεχνικές· χρωματογραφικές τεχνικές· υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης· αέρια χρωματογραφία.

Στη δεύτερη και τρίτη ενότητα, αρχικώς περιγράφονται οι αρχές κάθε τεχνικής, ώστε να είναι εφικτός ο προσδιορισμός ενός συγκεκριμένου αναλύτη σ' ένα δείγμα, καθώς επίσης και ο σχεδιασμός της ανάπτυξης μιας αναλυτικής μεθόδου, με βάση πληροφορίες που είναι απαραίτητες ή απαιτούνται, όπως π.χ. ο εργαστηριακός εξοπλισμός μέτρησης που πρέπει να είναι διαθέσιμος, καθώς επίσης και ποια πρέπει να είναι η στατιστική σημαντικότητα της μεθόδου.

Προκειμένου να βοηθηθούν οι φοιτητές στη βαθιά κατανόηση των εννοιών που διδάχθηκαν και την εξοικείωσή τους στον τρόπο προσέγγισης και επίλυσης κάθε προβλήματος και διεργασίας μιας χημικής ανάλυσης, δίνεται στο τέλος κάθε κεφαλαίου ένας ικανοποιητικός αριθμός προσεκτικώς επιλεγμένων ερωτήσεων, λυμένων και άλυτων προβλημάτων. Οι απαντήσεις των ερωτήσεων, η μελέτη των λυμένων και η επίλυση των άλυτων προβλημάτων αποτελούν ένα από τα κυριότερα παιδαγωγικά εργαλεία κατανόησης των εννοιών που διδάχθηκαν οι φοιτητές.

Στο τέλος του βιβλίου δίνονται εκτεταμένα παραρτήματα, όπως: εκτεταμένη ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία, μαζί με λίστα των κυριότερων χρησιμοποιούμενων επιστημονικών περιοδικών της Αναλυτικής Χημείας, πίνακες των σχε-

τικών ατομικών μαζών των χημικών στοιχείων, των διάφορων σταθερών (διάστασης ασθενών οξέων και βάσεων, γινομένου διαλυτότητας και αστάθειας συμπλόκων ιόντων), που είναι απαραίτητοι για την επίλυση των διάφορων προβλημάτων και απαντήσεις άλυτων προβλημάτων. Τέλος παραθέτονται ευρετήρια συμβόλων και ξενόγλωσσων όρων, επιπροσθέτως του ευρετηρίου των ελληνικών όρων.

Υιοθετήθηκαν σε όλο το βιβλίο οι πρόσφατες προτάσεις της IUPAC, όσον αφορά την ονομασία των διάφορων φυσικών μεγεθών της Αναλυτικής Χημείας, και χρησιμοποιήθηκε το διεθνές σύστημα μονάδων (SI) για τα διάφορα αναλυτικά φυσικά μεγέθη, εκτός από τη μονάδα όγκου «λίτρο, L», η οποία, αν και δεν είναι μονάδα όγκου στο σύστημα SI, έγινε αποδεκτή από την IUPAC, καθώς το 1 L ορίστηκε ως ίσο με  $1 \text{ dm}^3$ . Ομοίως, ως υποπολλαπλάσια μονάδα όγκου για τα υγρά διαλύματα χρησιμοποιήθηκε ο όρος χιλιοστόλιτρο, mL, αντί του κυβικού εκατοστόμετρου,  $\text{cm}^3$ .

Για άλλη μια φορά, ευχαριστούμε θερμά τις Εκδόσεις Ζήτη, την κ. Κική Στρούλη και τον κ. Άρη Σύρμο για την προσεκτική εργασία, την προσοχή στη λεπτομέρεια και την αρτιότητα της έκδοσης. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στις κκ. Άννα Παναγοπούλου και Αθηνά Αντωνιάδη για την καλλιτεχνική επίβλεψη του εξωφύλλου και οπισθοφύλλου του βιβλίου.

Τέλος, επειδή το βιβλίο αυτό ενδέχεται να περιέχει ατέλειες ή και τυπογραφικές αβλεψίες, θα είμαστε ευγνώμονες για κάθε καλόπιστη κριτική, σχόλιο, υπόδειξη και επισημάνσεις που θα βελτίωναν την ποιότητα της έκδοσης.

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Γ. ΘΕΜΕΛΗΣ  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ-ΣΤΕΛΛΑ ΖΩΤΟΥ

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2017

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

vii

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αναλυτική Χημεία – Χημική Ανάλυση	1
1.2. Γλώσσα Αναλυτικής Χημείας	2
1.3. Περιεχόμενο Αναλυτικής Χημείας	4
1.4. Ταξινόμηση αναλυτικών τεχνικών	5
1.5. Εφαρμογές Αναλυτικής Χημείας	6
1.6. Αρχές Αναλυτικής Χημείας	8
Ερωτήσεις	9

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

2.1. Χημικές αντιδράσεις	13
2.1.1. Αριθμός φορτίου	14
2.2. Χημικές εξισώσεις	14
2.2.1. Στοιχειομετρία	16
2.3. Κατηγορίες χημικών αντιδράσεων	16
2.3.1. Οξεοβασικές αντιδράσεις	16
2.3.2. Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις	17
Οξείδωση και αναγωγή	17
Οξειδωτική κατάσταση ή αριθμός οξείδωσης	18
Συμβατικοί κανόνες εύρεσης του αριθμού οξείδωσης	18
Αριθμός οξείδωσης και σθένος ατόμου	21
Φυσική έννοια ή αρχή του αριθμού οξείδωσης	21
Χρήση αριθμών οξείδωσης	23
2.4. Οξειδοαναγωγικά συστήματα	24
2.5. Οξειδωτικά και αναγωγικά μέσα	25

2.5.1. Κυριότερα οξειδωτικά μέσα	25
$\text{KMnO}_4$	26
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	26
$\text{HNO}_3$	26
$\text{F}_2$ , $\text{Cl}_2$ , $\text{Br}_2$ , $\text{I}_2$	27
Βασιλικό ύδωρ	28
$\text{H}_2\text{O}_2$	28
$\text{NaBiO}_3$	28
2.5.2. Κυριότερα αναγωγικά μέσα	28
$\text{H}_2\text{O}_2$	29
$\text{H}_2\text{S}$	29
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	29
$\text{SnCl}_2$	30
Μέταλλα, $\text{H}_2$	30
2.6. Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων	30
2.6.1. Μέθοδος αριθμού οξείδωσης	31
Ερωτήσεις	35
Άλυτα προβλήματα	36

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ. ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΟΥΣΙΩΝ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

3.1. Διαλύματα. Διαλυτότητα ουσιών	37
3.2. Συγκέντρωση διαλυμάτων	38
3.2.1. Ορισμοί κλασικών φυσικών μεγεθών	39
Σχετική ατομική μάζα	39
Σχετική μοριακή μάζα	39
Ποσότητα ουσίας	40
Μολαρική μάζα	40
3.2.2. Τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης των διαλυμάτων	41
Συγκέντρωση ποσότητας ουσίας	41
Συγκέντρωση μάζας	44
Κλάσμα μάζας	44
Κλάσμα όγκου	45
3.3. Ισοστάθμιση φορτίου ή νόμος ηλεκτρικής ουδετερότητας	46
3.4. Ισοστάθμιση μάζας	47



Ερωτήσεις	48
Λυμένα προβλήματα	49
Άλυτα προβλήματα	54

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

4.1. Ταχύτητα αντίδρασης. Βασικές αρχές	57
4.1.1. Έκταση αντίδρασης	58
4.1.2. Ταχύτητα μετατροπής	59
4.1.3. Ταχύτητα αντίδρασης	59
4.1.4. Νόμος δράσης των μαζών ή νόμος ταχύτητας	61
4.1.5. Μοριακότητα στοιχειώδους αντίδρασης	63
4.1.6. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης	63
Συγκέντρωση ποσότητας αντιδρώντων σωμάτων	63
Θερμοκρασία	64
Καταλύτες	65
Φύση αντιδρώντων σωμάτων	67
Επιφάνεια επαφής	67
Φύση διαλύτη	67
Ακτινοβολίες	67
Πίεση	68
4.2. Χημική ισορροπία	68
4.2.1. Νόμος χημικής ισορροπίας	70
Πηλίκιο αντίδρασης	72
Φυσική σημασία της σταθεράς ισορροπίας. Απόδοση και ταχύτητα αντίδρασης	73
4.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση της χημικής ισορροπίας	74
Θερμοκρασία	76
Πίεση	77
Συγκέντρωση ποσότητας	77
4.2.3. Ισορροπία κατανομής μεταξύ διαλυτών που δεν αναμειγνύονται	80
Σταθερά κατανομής	81
Λόγος κατανομής	82
Παράγοντας διαχωρισμού	83
Αποτελεσματικότητα εκχύλισης	84
Ποσοτική εκχύλιση	86
Εφαρμογές του νόμου κατανομής στη χημική ανάλυση	86



Ερωτήσεις	89
Λυμένα προβλήματα	91
Άλυτα προβλήματα	97

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΑΣΘΕΝΩΝ ΟΞΕΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΕΩΝ

5.1. Ηλεκτρολύτες και μη ηλεκτρολύτες	101
5.2. Βαθμός διάστασης ηλεκτρολύτη	102
5.3. Θεωρίες οξέων και βάσεων	103
5.3.1. Θεωρία Arrhenius	103
5.3.2. Θεωρία Brönsted-Lowry	104
Αμφιπρωτικές ενώσεις ή αμφολύτες	107
Αμφιπρωτικοί διαλύτες	108
Ισχύς οξέων και βάσεων	108
Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θεωρίας Brönsted-Lowry	109
5.3.3. Θεωρία Lewis	110
5.4. Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών οξέων και βάσεων	111
5.4.1. Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών οξέων	112
5.4.2. Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών βάσεων	112
5.4.3. Συσχέτιση σταθερών οξύτητας και βασικότητας των ασθενών μονοπρωτικών οξέων και βάσεων	113
5.4.4. Νόμος αραιώσης Ostwald	114
Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών οξέων	114
Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών βάσεων	115
Συμπεράσματα του νόμου αραιώσης Ostwald	116
5.4.5. Ισχύς οξέων και βάσεων	117
5.4.6. Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών οξέων παρουσία ισχυρών οξέων ή αλάτων που έχουν κοινό ιόν με τα ασθενή οξέα	118
5.4.7. Διάσταση ασθενών μονοπρωτικών βάσεων παρουσία ισχυρών βάσεων ή αλάτων που έχουν κοινό ιόν με τις ασθενείς βάσεις	120
5.5. Διάσταση ασθενών πολυπρωτικών οξέων και βάσεων	123
5.5.1. Βαθμοί διάστασης ασθενών πολυπρωτικών οξέων και βάσεων	125
5.5.2. Ισχύς ασθενών πολυπρωτικών οξέων και βάσεων	125
5.5.3. Υπολογισμός οξύτητας ασθενών πολυπρωτικών οξέων και βά- σεων	125
5.6. Διάσταση $\text{H}_2\text{O}$ . Κλίμακα pH	126

5.6.1. Αυτοδιάσταση ή αυτοπρωτόλυση $H_2O$	126
Οξύτητα και αλκαλικότητα	127
5.6.2. $pH$ , $pOH$ και κλίμακα $pH$	128
$pH$	128
$pOH$	128
Κλίμακα $pH$	128
5.7. Υδρόλυση	129
5.7.1. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ισχυρά οξέα και ισχυρές βάσεις	130
5.7.2. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ασθενή οξέα και ισχυρές βάσεις	130
5.7.3. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ισχυρά οξέα και ασθενείς βάσεις	134
5.7.4. Υδρόλυση αλάτων που προέρχονται από ασθενή οξέα και ασθενείς βάσεις	138
5.8. Ρυθμιστικά διαλύματα	141
5.8.1. Υπολογισμός $pH$ ρυθμιστικών διαλυμάτων	142
Διαλύματα ασθενών μονοπρωτικών οξέων και αλάτων τους με ισχυρές μονοπρωτικές βάσεις	142
Διαλύματα ασθενών μονοπρωτικών βάσεων και αλάτων τους με ισχυρά μονοπρωτικά οξέα	144
5.8.2. Μηχανισμός ρυθμιστικής δράσης ρυθμιστικών διαλυμάτων	146
Διαλύματα ασθενών μονοπρωτικών οξέων και αλάτων τους με ισχυρές μονοπρωτικές βάσεις	146
Διαλύματα ασθενών μονοπρωτικών βάσεων και αλάτων τους με ισχυρά μονοπρωτικά οξέα	147
5.8.3. Ρυθμιστική περιοχή και χωρητικότητα ρυθμιστικών διαλυμάτων	148
5.8.4. Παρασκευή ρυθμιστικών διαλυμάτων	149
Ερωτήσεις	150
Λυμένα προβλήματα	153
Άλυτα προβλήματα	165

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ. ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ

6.1. Εισαγωγή	169
6.2. Διαλυτότητα δυσδιάλυτων ηλεκτρολυτών. Αρχή γινομένου διαλυτότητας	170

6.2.1. Διαλυτότητα και ενδογενής διαλυτότητα δυσδιάλυτων ηλεκτρολυτών	172
6.2.2. Πινόμενα διαλυτότητας και ιόντων	173
Πινόμενο διαλυτότητας	173
Πινόμενο ιόντων	174
6.3. Σχέση διαλυτότητας και σταθεράς γινομένου διαλυτότητας	174
6.3.1. Δυσδιάλυτοι ασθενείς ηλεκτρολύτες	174
6.3.2. Δυσδιάλυτοι ισχυροί ηλεκτρολύτες	175
6.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα δυσδιάλυτου ισχυρού ηλεκτρολύτη	177
Πίεση	177
Μέγεθος σωματιδίων	177
Φύση διαλύτη	177
Μη κοινό ιόν	178
Σχηματισμός συμπλόκων ιόντων	180
Κοινό ιόν	180
Θερμοκρασία	183
pH	184
6.5. Κλασματική καταβύθιση	185
6.5.1. Εφαρμογές κλασματικής καταβύθισης	188
Καταβύθιση θειούχων αλάτων	188
Καταβύθιση υδροξειδίων των μετάλλων	190
Καταβύθιση ανθρακικών αλάτων	192
6.6. Εφαρμογές της αρχής του γινομένου διαλυτότητας. Σχηματισμός και διάλυση ιζημάτων	193
6.6.1. Σχηματισμός ιζήματος	193
6.6.2. Διάλυση ιζήματος	194
Σχηματισμός ασθενούς ηλεκτρολύτη	195
Σχηματισμός διαλυτού συμπλόκου ιόντος	195
Οξειδοαναγωγικές δράσεις	195
Σχηματισμός δυσδιαλυτότερης ένωσης	196
Ερωτήσεις	196
Λυμένα προβλήματα	199
Άλυτα προβλήματα	208

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΣΥΜΠΛΟΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

7.1. Δομή συμπλόκων ιόντων	211
7.2. Σχηματισμός συμπλόκων ιόντων	213
7.3. Διάσταση συμπλόκων ιόντων	215
7.4. Τέλεια και ατελή σύμπλοκα ιόντα	217
7.5. Ευκίνητα και αδρανή σύμπλοκα ιόντα	218
7.6. Είδη συμπλόκων ιόντων	218
Αλογονοσύμπλοκα	218
Αμμίνες ή μεταλλοαμμωνιακά σύμπλοκα	219
Αυτοσύμπλοκα	219
Θειοκυανιοσύμπλοκα και κυανιοσύμπλοκα	219
Θειοσύμπλοκα	220
Ομοιοατομικά σύμπλοκα	220
Υδατοσύμπλοκα	220
Υδροξοσύμπλοκα	220
Χηλικά ιόντα ή χηλικές ενώσεις	221
7.7. Επίδραση συμπλοκοποίησης στη διαλυτότητα δυσδιάλυτων ηλεκτρολυτών	221
7.8. Εφαρμογές συμπλόκων ιόντων στη χημική ανάλυση	222
7.8.1. Ειδικές δοκιμασίες ανίχνευσης ιόντων	222
7.8.2. Άρση παρεμποδίσεων	223
7.8.3. Διαχωρισμός με εκχύλιση	224
Ερωτήσεις	225
Λυμένα προβλήματα	226
Άλυτα προβλήματα	232

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

8.1. Σημαντικά ψηφία	235
8.2. Συστηματικά και τυχαία σφάλματα	238
8.3. Ακρίβεια και επαναληψιμότητα	239
8.4. Μέση και διάμεση τιμή	241
8.5. Απόκλιση, εύρος, τυπική απόκλιση, σχετική τυπική απόκλιση, διακύμανση	242

8.6. Προσαρμογή πειραματικών αποτελεσμάτων. Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων	245
Ερωτήσεις	250
Λυμένα προβλήματα	254
Άλυτα προβλήματα	263

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

9.1. Χαρακτηριστικά αναλυτικής μεθόδου	269
9.2. Επικύρωση αναλυτικής μεθόδου	270
9.2.1. Καθιέρωση ελάχιστων κριτηρίων	271
9.2.2. Εκλεκτικότητα	272
9.2.3. Γραμμικότητα	272
9.2.4. Ακρίβεια	275
9.2.5. Επαναληψιμότητα	276
9.2.6. Περιοχή προσδιορισμού	279
9.2.7. Όριο ανίχνευσης	280
9.2.8. Όριο ποσοτικού προσδιορισμού	282
9.2.9. Ευαισθησία	282
9.2.10. Σταθερότητα	283
9.2.11. Ευρωστία	284
Ερωτήσεις	285
Λυμένα προβλήματα	289
Άλυτα προβλήματα	295

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

10.1. Εισαγωγή	299
10.2. Κανόνες ασφάλειας εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας	300
10.3. Χαρακτηρισμός και ασφαλής χειρισμός επικίνδυνων τοξικών χημικών ουσιών	304
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	304
CN <sup>-</sup>	304
CCl <sub>4</sub>	305
H <sub>2</sub> S	305

HF	305
HClO <sub>4</sub>	305
10.4. Διάθεση χημικών αποβλήτων	309
Ερωτήσεις	310

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

### ΧΗΜΙΚΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ.

#### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

11.1. Χημικά αντιδραστήρια	313
11.1.1. Υπερκαθαρά αντιδραστήρια	314
11.1.2. Αναλυτικώς καθαρά αντιδραστήρια	315
11.1.3. Χημικώς καθαρά αντιδραστήρια	315
11.1.4. Φαρμακευτικώς καθαρά αντιδραστήρια	315
11.1.5. Εμπορικώς ή τεχνικώς καθαρά αντιδραστήρια	315
11.2. Λειτουργικότητα εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας	316
11.2.1. Τάξη και καθαριότητα εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας	316
11.2.2. Κανόνες ορθού χειρισμού χημικών αντιδραστηρίων και διαλυμάτων	317
11.2.3. Οδηγίες εκτέλεσης χημικών εργαστηριακών ασκήσεων	319
11.2.4. Ημερολόγιο εργασίας	321
Ερωτήσεις	324

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

### ΤΙΤΛΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

12.1. Εισαγωγή	327
12.2. Θεωρητικές αρχές	327
12.2.1. Προϋποθέσεις χρησιμοποίησης μιας αντίδρασης στην τιτλομετρική ανάλυση	329
12.2.2. Ταξινόμηση τιτλομετρικών τεχνικών	330
12.2.3. Συσκευές και αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στις τιτλομετρικές τεχνικές	331
Πρωτογενή και δευτερογενή πρότυπα διαλύματα	331
12.3. Οξεοβασικές τιτλομετρήσεις	333
12.3.1. Οξύμετρία	334
Παρασκευή πρότυπου διαλύματος 0,1 mol L <sup>-1</sup> HCl	334

Προσδιορισμός ανθρακικού νατρίου	336
12.3.2. Αλκαλιμετρία	337
Παρασκευή πρότυπου διαλύματος 0,1 mol L <sup>-1</sup> NaOH	338
Προσδιορισμός όξινου φθαλικού καλίου	339
12.4. Τιτλομετρήσεις καταβύθισης	340
12.4.1. Αργυρομετρία	341
Παρασκευή πρότυπου διαλύματος 0,01 mol L <sup>-1</sup> AgNO <sub>3</sub>	342
Προσδιορισμός ιόντος Cl <sup>-</sup> με τη μέθοδο Mohr	343
12.5. Συμπλοκομετρικές τιτλομετρήσεις	346
12.5.1. Διαπίστωση τελικού σημείου. Μεταλλοχρωμικοί δείκτες	349
12.5.2. Εκλεκτικότητα συμπλοκομετρικών τιτλομετρήσεων	350
Έλεγχος pH	350
Επικαλυπτικά αντιδραστήρια	350
Χημικοί διαχωρισμοί	351
12.5.3. Προσδιορισμός ασβεστίου και μαγνησίου στο πόσιμο νερό	351
Παρασκευή πρότυπου διαλύματος 0,1 mol L <sup>-1</sup> EDTA	352
12.6. Οξειδοαναγωγικές τιτλομετρήσεις	355
12.6.1. Μαγγανιομετρία	357
Παρασκευή πρότυπου διαλύματος 0,02 mol L <sup>-1</sup> KMnO <sub>4</sub>	359
Προσδιορισμός Fe(II)	360
12.6.2. Ιωδιομετρία	362
Προσδιορισμός αναγωγικών ουσιών με άμεση τιτλομέτρηση	362
Προσδιορισμός οξειδωτικών ουσιών με έμμεση τιτλομέτρηση	364
Παρασκευή πρότυπου διαλύματος 0,1 mol L <sup>-1</sup> Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	366
Προσδιορισμός χαλκού	367
Ερωτήσεις	369
Λυμένα προβλήματα	377
Άλυτα προβλήματα	382

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

### ΜΟΡΙΑΚΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

### ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ - ΟΡΑΤΟΥ

13.1. Εισαγωγή	393
13.2. Νόμος Bouguer-Lambert - Beer	393
13.2.1. Εφαρμογές νόμου Beer σε μείγματα	395



13.2.2. Περιορισμοί νόμου Beer	395
Πραγματικοί παράγοντες	396
Οργανολογικοί παράγοντες	398
Χημικοί παράγοντες	399
13.3. Φωτόμετρα, φασματόμετρα, φασματοφωτόμετρα	402
Πηγές	404
Φίλτρα	406
Μονοχρωμάτορες	406
Κυψελίδες	407
Ανιχνευτές	408
Επεξεργαστές σήματος	408
13.3.1. Φασματοφωτόμετρα απλής και διπλής δέσμης	409
13.4. Ποσοτικοί προσδιορισμοί	411
13.5. Εφαρμογές	417
Ποιοτική Χημική Ανάλυση	417
Ποσοτική Χημική Ανάλυση	418
Περιβαλλοντική Χημεία	419
Κλινική Χημεία	420
Βιομηχανική Χημεία	420
Δικανική Χημεία	420
13.6. Προσδιορισμός σιδήρου σε νερά και απόβλητα	421
Αρχή μεθόδου	421
Πορεία εργασίας	421
Παρατηρήσεις	422
Ερωτήσεις	423
Λυμένα προβλήματα	428
Άλυτα προβλήματα	441

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

### ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ

14.1. Εισαγωγή	449
14.2. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα ατομικής φασματομετρίας	451
14.3. Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης	451
14.3.1. Ατομοποίηση φλόγας	452
14.3.2. Ηλεκτροθερμική ατομοποίηση	458
14.3.3. Ατομοποίηση υδριδίων	464

14.3.4. Ατομοποίηση ψυχρού ατμού	465
14.3.5. Πηγές ακτινοβολίας	467
14.3.6. Διαμόρφωση πηγής	471
14.3.7. Μέτρηση απορρόφησης	473
Φασματόμετρο διπλής δέσμης	475
14.3.8. Παρεμποδίσεις	476
Φασματικές παρεμποδίσεις	476
Χημικές παρεμποδίσεις	483
Φυσικές παρεμποδίσεις	486
14.3.9. Ποσοτικοί προσδιορισμοί	486
Τεχνική αναλυτικής καμπύλης βαθμονόμησης	489
Τεχνική προσθήκης προτύπου	489
Τεχνική εσωτερικού προτύπου	489
14.3.10. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης	491
14.3.11. Εφαρμογές	492
14.4. Φασματομετρία ατομικής εκπομπής επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος	493
14.4.1. Πηγή πλάσματος	494
14.4.2. Εκνέφωση και εισαγωγή δείγματος	498
14.4.3. Ατομοποίηση αναλύτη	499
14.4.4. Φασματόμετρα	500
Διάταξη απομόνωσης μηκών κύματος	500
Ανιχνευτής	502
Επεξεργαστής σήματος	503
Σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή	503
14.4.5. Παρεμποδίσεις	503
Λευκή παρεμπόδιση	503
Παρεμπόδιση αναλύτη	504
14.4.6. Πλεονεκτήματα	505
14.4.7. Ποσοτικοί προσδιορισμοί	506
Προετοιμασία δείγματος	507
Επιλογή μήκους κύματος	508
Επιλογή μεθόδου προτυποποίησης	508
14.4.8. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα	510
14.4.9. Εφαρμογές	511

14.5. Προσδιορισμός χαλκού και ψευδαργύρου σε δείγματα ιστού	512
Αρχή μεθόδου	512
Πορεία εργασίας	512
Παρατηρήσεις	513
Ερωτήσεις	514
Λυμένα προβλήματα	522
Άλυτα προβλήματα	528

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

### ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

15.1. Εισαγωγή	533
15.2. Αντικειμενικοί σκοποί και πλεονεκτήματα του αυτοματισμού	534
15.3. Μερικές αναλυτικές εφαρμογές του αυτοματισμού	535
15.4. Ταξινόμηση αυτόματων αναλυτών	536
15.4.1. Αναλυτές αναλόγως με τον βαθμό αυτοματοποίησης	536
Αυτόματοι αναλυτές	536
Ημιαυτόματοι αναλυτές	537
15.4.2. Αναλυτές αναλόγως του τρόπου μεταφοράς και χειρισμού δειγμάτων και αντιδραστηρίων	537
Αναλυτές συμβατικών ή διάκριτων αναλύσεων	537
Αναλυτές ροής	539
Ρομποτικοί αναλυτές	540
15.5. Αυτόματοι αναλυτές με έγχυση δείγματος σε συνεχή ροή	540
15.5.1. Πλεονεκτήματα της FIA	543
15.5.2. Διασπορά δείγματος	545
15.5.3. Βασικά τμήματα αναλυτή FIA	549
Συστήματα προώθησης αντιδραστηρίων	549
Σύστημα εισαγωγής δείγματος	551
Πολλαπλό τμήμα ανάμειξης και αντιδράσεων	552
Σύστημα ανίχνευσης	554
Σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας των σημάτων	555
15.5.4. Τεχνικές FIA	556
Πληρωμένοι αντιδραστήρες	556
Διάχυση αερίων	557
Διαπίδυση	558
Εκχύλιση	560

Αναχαίτιση ροής	562
Τιτλομετρήσεις FIA	564
15.5.5. Εφαρμογές της FIA	566
15.5.6. Μελλοντικές προοπτικές εξέλιξης της FIA	566
15.6. Αυτόματοι αναλυτές με διαδοχική έγχυση του δείγματος σε ροή	567
15.6.1. Αρχή λειτουργίας της SIA	568
15.6.2. Βασικά τμήματα αναλυτή SIA	570
15.6.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της SIA	572
15.6.4. Τεχνικές SIA	572
Αραίωση σε ροή	572
Εκχύλιση υγρού-υγρού	573
Σύζευξη με την HPLC	574
Διάχυση αερίων	575
15.6.5. Εφαρμογές της SIA	577
15.7. Ταυτόχρονος φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός ασβεστίου και μαγνησίου σε κόκκινα και λευκά κρασιά	577
Αρχή μεθόδου	577
Πορεία εργασίας	577
Παρατηρήσεις	579
Ερωτήσεις	580

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

### ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

16.1. Εισαγωγή	585
16.1.1. Τεχνικές διαχωρισμού στην προκατεργασία του δείγματος	586
16.1.2. Διαχωρισμός με βάση την κατανομή μεταξύ φάσεων	587
Εκχύλιση μεταξύ δύο φάσεων	588

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17

### ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

17.1. Εισαγωγή	595
Χρωματογραφία προσρόφησης	596
Χρωματογραφία κατανομής	597
Χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής	597

Χρωματογραφία αποκλεισμού μεγέθους	597
Χρωματογραφία χημικής συγγένειας	597
Χρωματογραφικές τεχνικές	597
17.1.1. Χρωματογραφία λεπτής στιβάδας	600
17.1.2. Χρωματογραφία χάρτου	600

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18

### ΥΓΡΗ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ /ΑΠΟΔΟΣΗΣ

18.1. Εισαγωγή	603
18.1.1. Βασικές αρχές χρωματογραφίας	604
Παράγοντας συγκράτησης	604
Αριθμός θεωρητικών πλακών	605
Διακριτική ικανότητα	607
Παράγοντας διαχωρισμού	607
18.1.2. Οργανολογία HPLC	608
Δοχεία διαλυτών κινητής φάσης	609
Απαέρωση διαλυτών	609
Αντλίες	610
Συστήματα εισαγωγής δείγματος	611
Στήλες	612
Έλεγχος θερμοκρασίας στήλης	614
Ανιχνευτές	614
Ανιχνευτές υπεριώδους-ορατού	616
Φθορισμομετρικοί ανιχνευτές	618
Ηλεκτροχημικοί ανιχνευτές	619
Ανιχνευτές δείκτου διάθλασης	620
Φασματόμετρα μαζών	620
Συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων	621
Ποσοτική χημική ανάλυση	622
18.2. Συνδυασμένη τεχνική υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μαζών	622
18.2.1. Πηγή ιόντων	624
Ιοντισμός στην αέρια φάση	624
Ιοντισμός με εκρόφηση	628
18.2.2. Αναλυτής μαζών	629
Τετραπολικός αναλυτής	629

Αναλυτής παγίδας ιόντων	630
Αναλυτής χρόνου πτήσης	631
Αναλυτής κυκλοτρονικού συντονισμού ιόντων με μετασχηματισμό Fourier	631
18.2.3. Ανιχνευτής	631
Πολλαπλασιαστής ηλεκτρονίων	632
Φωτοπολλαπλασιαστής	632
Μικροκαναλικές πλάκες	632
18.3. Φάσματα μαζών	633
18.4. Τεχνική φασματομετρίας μαζών σε σειρά	635
18.4.1. Διάσπαση επαγόμενη από σύγκρουση και φασματομετρία μαζών πολλαπλών σταδίων	636
Διάσπαση επαγόμενη από σύγκρουση σε ενιαίο στάδιο φασματομετρίας μαζών	636
Διάσπαση επαγόμενη από σύγκρουση και φασματομετρία μαζών σε σειρά	637
18.5. Εφαρμογές υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης /απόδοσης	640
18.5.1. Προσδιορισμός συντηρητικών και τεχνητών γλυκαντικών ουσιών σε αναψυκτικά	640
Αρχή μεθόδου	640
Πορεία εργασίας	641
Παρατήρηση	642
Ερωτήσεις	643
Λυμένα προβλήματα	644
Άλυτα προβλήματα	650

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 19

### ΑΕΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

19.1. Εισαγωγή	657
19.1.1. Κινητή φάση	657
19.1.2. Στήλες	658
Πακεταρισμένες στήλες	658
Τριχοειδείς στήλες	659
Στατικές φάσεις στην αέρια-υγρή χρωματογραφία	659
19.1.3. Εισαγωγή δείγματος	662
Προετοιμασία πτητικού δείγματος	662

Ρύθμιση της συγκέντρωσης των προσδιοριζόμενων ενώσεων	665
Τεχνικές έγχυσης του δείγματος	665
Παραγωγοποίηση στην αέρια χρωματογραφία	668
19.1.4. Έλεγχος θερμοκρασίας	669
19.1.5. Ανιχνευτές	670
Ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας	670
Ανιχνευτής ιοντισμού φλόγας	671
Ανιχνευτής σύλληψης ηλεκτρονίων	672
Άλλοι Ανιχνευτές	673
19.1.6. Ποιοτική και ποσοτική χημική ανάλυση στην αέρια χρωμα- τογραφία	675
Ποσοτική χημική ανάλυση	675
Ποιοτική χημική ανάλυση	676
Δείκτης συγκράτησης	677
Αξιολόγηση αεριοχρωματογραφικής ανάλυσης	678
19.2. Συνδυασμένη τεχνική αέριας χρωματογραφίας - φασματομετρίας μα- ζών	679
19.2.1. Πηγή ιόντων	681
Τεχνικές ιοντισμού	681
Ιοντισμός ηλεκτρονίων	681
Χημικός ιοντισμός	683
19.2.2. Αναλυτής μαζών	684
Τετραπολικός αναλυτής	686
Αναλυτής παγίδας ιόντων	686
Αναλυτής χρόνου πτήσης	687
Αναλυτής μαγνητικού τομέα	687
19.3. Φασματομετρία μαζών σε σειρά	688
19.4. Εφαρμογές αέριας χρωματογραφίας	691
19.4.1. Προσδιορισμός τριαλογονομεθανίων στο πόσιμο νερό	691
Αρχή μεθόδου	691
Πορεία προσδιορισμού	692
Παρατηρήσεις	694
Ερωτήσεις	695
Λυμένα προβλήματα	697
Άλυτα προβλήματα	700



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.	Ελληνική βιβλιογραφία	707
2.	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	708
3.	Κυριότερα επιστημονικά περιοδικά όπου δημοσιεύονται θέματα Αναλυτικής Χημείας	713

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακες	715
---------	-----

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΑΛΥΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 2	727
Κεφάλαιο 3	727
Κεφάλαιο 4	728
Κεφάλαιο 5	728
Κεφάλαιο 6	729
Κεφάλαιο 7	729
Κεφάλαιο 8	730
Κεφάλαιο 9	731
Κεφάλαιο 12	731
Κεφάλαιο 13	732
Κεφάλαιο 14	733
Κεφάλαιο 18	733
Κεφάλαιο 19	735

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ

Ευρετήριο συμβόλων	739
Ευρετήριο ελληνικών όρων	745
Ευρετήριο ξενόγλωσσων όρων	777

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1. Αναλυτική Χημεία – Χημική Ανάλυση

Η *Αναλυτική Χημεία*, η επιστήμη της μέτρησης, αποτελείται από ένα σύνολο ιδεών και μεθόδων, οι οποίες είναι χρήσιμες σε όλα τα πεδία των θετικών επιστημών και της Ιατρικής. Ενδιαφέρεται δε για τον χημικό χαρακτήρα της ύλης, σε ποιοτικό και ποσοτικό επίπεδο.

Σύμφωνα με τις προτάσεις της IUPAC, τη διεθνή βιβλιογραφία και των σύγχρονων συγγραμμάτων της Αναλυτικής Χημείας, ορίζεται ο ρόλος της Αναλυτικής Χημείας και η μελλοντική της κατεύθυνση, καθώς επίσης και η διάκρισή της από τη *Χημική Ανάλυση*, ως εξής: «*Αναλυτική Χημεία είναι ο επιστημονικός κλάδος που αναπτύσσει και εφαρμόζει μεθόδους, όργανα και στρατηγικές, με σκοπό την άντληση πληροφοριών σχετικά με την σύσταση και τη φύση της ύλης στον χώρο και τον χρόνο. Εκτός από την ανάπτυξη νέων μεθόδων μέτρησης χημικών φαινομένων, βελτιώνει ή συγκρίνει κατοχυρωμένες αναλυτικές μεθόδους προσδιορισμού αναλυτών και επεκτείνει υπάρχουσες μεθόδους σε νέου τύπου δείγματα*».

Αντιθέτως, η «*Χημική Ανάλυση αναφέρεται στη διεξαγωγή μιας ανάλυσης ρουτίνας σε ένα δείγμα ρουτίνας, εφαρμόζοντας μια ήδη υπάρχουσα αναλυτική μέθοδο*».

Απόρροια των ορισμών αυτών είναι το γεγονός ότι, προκειμένου ο Αναλυτικός Χημικός να προβεί στη μέτρηση χημικών φαινομένων, απαιτούνται εκ μέρους του όχι μόνο καλή γνώση της σχετικής χημείας, αλλά ταυτοχρόνως και απαραίτητες ικανότητες μέτρησης. Επιπλέον, ο Αναλυτικός Χημικός, για να ελέγχει την ποιότητα των αναλύσεων ρουτίνας, πρέπει να φροντίζει για την τήρηση της *Ορθής Εργαστηριακής Πρακτικής* (*Good Laboratory Practice, GLP*), προκειμένου να επαληθεύσει την αξιοπιστία των λαμβανόμενων αποτελεσμάτων, χρησιμοποιώντας χημειομετρικές μεθόδους, πιστοποιημένα πρότυπα υλικά αναφοράς και άλλες μεθόδους.

Από την άλλη πλευρά, οι ερευνητές που διεξάγουν μια χημική ανάλυση ρουτίνας, σε ένα δείγμα ρουτίνας, εφαρμόζοντας μια ήδη υπάρχουσα αναλυτική διαδικασία, λαμβάνοντας απαντήσεις που αφορούν την εν λόγω ανάλυση, δεν είναι απαραίτητα Αναλυτικοί Χημικοί. Είναι παράλογο να δηλώνεται ότι κάποιος που γνωρίζει τον χειρισμό π.χ. ενός φωτομέτρου ή ενός χρωματογράφου ή ενός σιφωνίου είναι Αναλυτικός Χημικός.

Απεναντίας, η καθημερινή χημική ανάλυση δειγμάτων ρουτίνας δεν είναι καθήκον των Αναλυτικών Χημικών. Αυτή μπορεί να γίνει είτε από τεχνικούς είτε από οποιονδήποτε κατάλληλα εκπαιδευμένο πρόσωπο που εκτελεί τις αναλύσεις και χειρίζεται τα απαραίτητα όργανα με αξιόπιστο τρόπο είτε από επιστήμονες που χρειάζονται τις αναλυτικές πληροφορίες που προκύπτουν από την ανάλυση, για τα δικά τους εξειδικευμένα ερευνητικά αντικείμενα.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, ο αναλυτής είναι ο χρήστης των αναλυτικών μεθόδων και οργάνων που αναπτύχθηκαν από τον Αναλυτικό Χημικό, με σκοπό την λήψη αξιόπιστων και πραγματικών αποτελεσμάτων, υπό την προϋπόθεση ότι δόθηκαν και ακολουθήθηκαν σωστά οι κατάλληλες οδηγίες.

## 1.2. Γλώσσα Αναλυτικής Χημείας

Η αναλυτικοί χημικοί συνομιλούν μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας επιστημονική ορολογία, με την οποία μεταφέρονται και κατανοούνται οι διάφορες ειδικές έννοιες που αφορούν το επιστημονικό πεδίο της Αναλυτικής Χημείας.

Επομένως, για να μάθει κάποιος τις έννοιες αυτές πρέπει αρχικά να κατανοήσει την γλώσσα της Αναλυτικής Χημείας. Για τον σκοπό αυτό ερμηνεύονται οι παρακάτω βασικοί όροι, η κατανόηση των οποίων θα διευκολύνει την καλύτερη αφομοίωση της ύλης που αναπτύσσεται στα επόμενα κεφάλαια του βιβλίου.

1) *Ανάλυση (Analysis)*. Παρέχει χημικές ή φυσικές πληροφορίες για ένα δείγμα.

2) *Αναλύτης (Analyte)*. Ονομάζεται το προσδιορισμένο συστατικό του δείγματος.

3) *Μήτρα (Matrix)*. Ονομάζεται το υπόλοιπο τμήμα του δείγματος, πέρα από το προσδιοριζόμενο συστατικό.

4) *Προσδιορισμός (Determination)*. Είναι η μέτρηση ενός ή περισσότερων χημικών ή φυσικών ιδιοτήτων του αναλύτη, π.χ. η ταυτότητα, η συγκέντρωση ή οι ιδιότητές του.

5) *Τεχνική (Technique)*. Ονομάζεται κάθε *χημική ή φυσική αρχή*, η οποία χρησιμοποιείται για τη μελέτη ενός αναλύτη. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλές τεχνικές

προσδιορισμού του μολύβδου σε διάφορα δείγματα. Χρησιμοποιώντας την τεχνική της ατομικής φασματομετρίας απορρόφησης με φούρνο θερμαινόμενου γραφίτη, ο μολύβδος ατομοποιείται και μετριέται η ικανότητα των ελεύθερων ατόμων του να απορροφούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία, από την αντίστοιχη λυχνία κοίλης καθόδου.

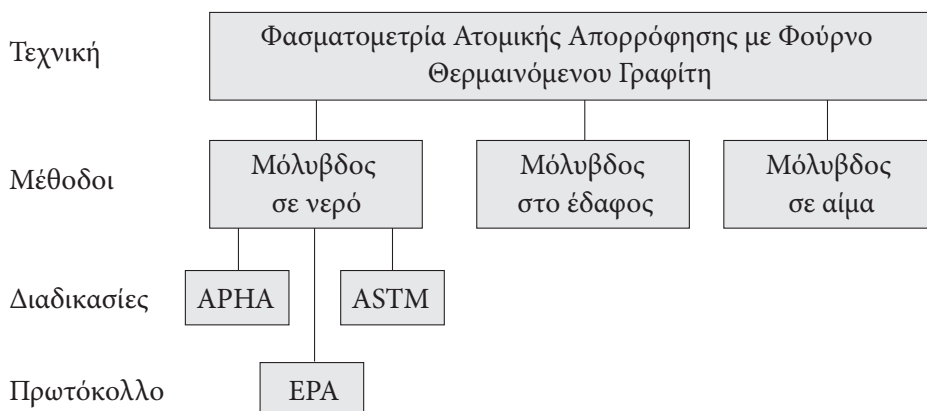
Επομένως, στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται και οι δύο αρχές, η χημική (ατομοποίηση) και η φυσική (απορρόφηση φωτός).

6) *Μέθοδος (Method)*. Είναι η εφαρμογή μιας τεχνικής για τον προσδιορισμό ενός συγκεκριμένου αναλύτη σε μια συγκεκριμένη μήτρα.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1, με την τεχνική της ατομικής φασματομετρίας απορρόφησης με φούρνο θερμαινόμενου γραφίτη, προσδιορίζεται ο μολύβδος με τρεις διαφορετικές μεθόδους σε δείγματα νερού, εδάφους και αίματος.

7) *Διαδικασία ή πορεία (Procedure)*. Περιλαμβάνει σύνολο γραπτών οδηγιών, που περιγράφουν λεπτομερώς πως εφαρμόζεται μια μέθοδος σε ένα συγκεκριμένο δείγμα, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών που αφορούν την ορθή δειγματοληψία, τον χειρισμό των παρεμποδίσεων και την επικύρωση των αποτελεσμάτων.

Μια μέθοδος δεν οδηγεί απαραίτητως σε μια απλή διαδικασία, καθώς διαφορετικοί αναλυτές ή κρατικοί φορείς ελέγχου προσαρμόζουν τη μέθοδο σύμφωνα με τις δικές τους ειδικές ανάγκες. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1, η Αμερικανική Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας (*American Public Health Agency, APHA*) και η Αμερικανική Εταιρεία Ελέγχου Υλικών (*American Society for Testing Material,*



**Σχήμα 1.1.** Σχέση μεταξύ μιας τεχνικής, των μεθόδων που χρησιμοποιούν την τεχνική αυτή, τις διαδικασίες και το πρωτόκολλο προσδιορισμού του μολύβδου στο νερό.

ASTM), δημοσιεύουν ξεχωριστές διαδικασίες προσδιορισμού του μολύβδου στο νερό.

8) *Πρωτόκολλο (Protocol)*. Περιλαμβάνει σύνολο αυστηρών γραπτών οδηγιών, που περιγράφουν λεπτομερώς τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί, αν ο οργανισμός ορίσει ρητώς ότι το πρωτόκολλο πρέπει να αποδεχθεί το αποτέλεσμα της ανάλυσης.

Τα πρωτόκολλα συνήθως συναντώνται, όταν η Αναλυτική Χημεία καλείται να στηρίξει ή να ορίσει μια δημόσια πολιτική. Για παράδειγμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, όταν πρόκειται να προσδιοριστούν τα επίπεδα του μολύβδου στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με τον *Νόμο του Ασφαλούς Πόσιμου Νερού (Safe Drinking Water Act)*, τα αναλυτικά εργαστήρια ακολουθούν το πρωτόκολλο που έχει καθοριστεί από την *Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA)*.

Προφανώς υπάρχει μια ακολουθία των όψεων 5, 6, 7 και 8 μιας αναλυτικής μεθοδολογίας. Ιδανικά, το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί μια διαδικασία, η οποία προηγούμενως έχει επικυρωθεί.

Προτού αναπτυχθεί και επικυρωθεί μια διαδικασία, πρέπει να επιλεγεί η μέθοδος της ανάλυσης. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του απαιτεί μια αρχική εξονυχιστική εξέταση των διαθέσιμων τεχνικών και επιλογή εκείνων που έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης του αναλύτη.

### 1.3. Περιεχόμενο Αναλυτικής Χημείας

Η Αναλυτική Χημεία διακρίνεται σε *ποιοτική* και *ποσοτική χημική ανάλυση*.

Ο ρόλος της ποιοτικής χημικής ανάλυσης είναι η ανίχνευση ή η ταυτοποίηση υπαρχόντων συστατικών σ' ένα δείγμα ή τέλος η εύρεση των προσμειξέων που συνοδεύουν ένα γνωστό δείγμα ή η επιβεβαίωση της απουσίας μιας συγκεκριμένης πρόσμειξης σ' αυτό.

Η ποσοτική χημική ανάλυση έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της ποσοτικής αναλογίας κάθε συστατικού ή συγκεκριμένων συστατικών στο δείγμα.

Η ποιοτική χημική ανάλυση προηγείται της ποσοτικής, καθόσον δεν είναι δυνατό να επιλεχτεί η κατάλληλη μέθοδος προσδιορισμού ενός συστατικού, όταν είναι άγνωστη η ταυτότητα των στοιχείων ή των ιόντων που συνυπάρχουν στο δείγμα.

Η ποιοτική και η ποσοτική χημική ανάλυση διαιρούνται σε *ανόργανη* και *οργανική ποιοτική* ή *ποσοτική χημική ανάλυση*, όταν οι ενώσεις που εξετάζονται είναι ανόργανες ή οργανικές αντιστοίχως.

## 1.4. Ταξινόμηση αναλυτικών τεχνικών

Οι αναλυτικές τεχνικές ταξινομούνται σε *Κλασικές (Classical)* και *Ενόργανες (Instrumental)*.

Οι κλασικές τεχνικές ήταν οι πρώτες αναλυτικές τεχνικές που αναπτύχθηκαν, παράγοντας ένα αποτέλεσμα με τη χρήση πειραματικά προσδιοριζόμενων οντοτήτων, όπως είναι η μάζα ή ο όγκος, με τη βοήθεια των σχετικών ατομικών και μοριακών μαζών και καθορισμένων χημικών αντιδράσεων.

Οι κλασικές τεχνικές υποδιαιρούνται στις *σταθμικές (gravimetric)* και *τιτλομετρικές (titrations)*.

Στις σταθμικές τεχνικές, ο αναλύτης ή μια καθορισμένη χημική ένωσή του σε ένα δείγμα, απομονώνεται και ζυγίζεται με κατάλληλη χημική (αντίδραση καταβύδισης και πύρωση) ή φυσικοχημική κατεργασία (εκχύλιση, ηλεκτρόλυση). Το λαμβανόμενο ίζημα είναι όσο το δυνατό απαλλαγμένο από ανεπιθύμητες προσμείξεις, έχει γνωστή και σταθερή στοιχειομετρία και η μάζα του υπολογίζεται με βάση τον μοριακό τύπο της ένωσης που προκύπτει και τις σχετικές ατομικές μάζες των στοιχείων που την αποτελούν.

Στις τιτλομετρικές τεχνικές, η μετρούμενη ποσότητα είναι ο όγκος του διαλύματος μιας ουσίας γνωστής συγκέντρωσης, που ονομάζεται *πρότυπο διάλυμα* ή *τιτλομέτρης (standard solution or titrant)*, ο οποίος απαιτείται, για να αντιδράσει ποσοτικά με ορισμένο όγκο διαλύματος του προσδιοριζόμενου αναλύτη.

Στις ενόργανες τεχνικές, με τη βοήθεια αναλυτικών οργάνων μετريέται μια φυσική ιδιότητα του αναλύτη, βάσει της οποίας ανιχνεύεται η παρουσία και προσδιορίζεται η ποσότητά του σ' ένα δείγμα.

Ανάλογα με την μετρούμενη φυσική ιδιότητα, οι ενόργανες τεχνικές διακρίνονται σε:

1) *Φασματοσκοπικές (Spectroscopic)*, οι οποίες βασίζονται σε μετρήσεις αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα άτομα ή μόρια του αναλύτη ή την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον αναλύτη.

2) *Ηλεκτροχημικές (Electrochemical)*, όταν η μετρούμενη ηλεκτρική ιδιότητα είναι το δυναμικό, το ρεύμα, η αντίσταση και η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου.

3) *Φασματομετρία μάζας (Mass spectrometry)*, όταν η μετρούμενη ιδιότητα είναι ο λόγος μάζας προς το φορτίο των ιόντων.

4) *Θερμικές (Thermal)*, όταν η μετρούμενη ποσότητα περιλαμβάνει μεταβολές θερμικών χαρακτηριστικών της μελετούμενης αντίδρασης.

5) *Ραδιοχημικές (Radiochemicals)*. Όταν η μετρούμενη ιδιότητα είναι η ταχύτητα ραδιενεργού διάσπασης των πυρήνων των ατόμων των χημικών στοιχείων.

6) Διαχωριστικές (*Separation*). Αναφέρονται στην απομάκρυνση ενός συστατικού του δείγματος από κάποιο άλλο.

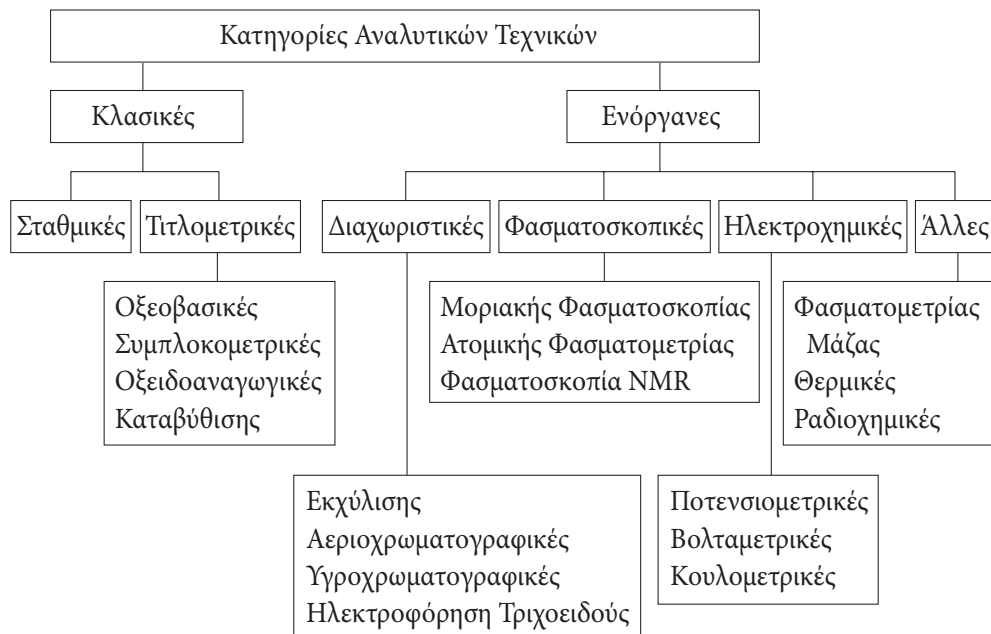
Στο σχήμα 1.2 απεικονίζονται οι κατηγορίες των αναλυτικών τεχνικών.

## 1.5. Εφαρμογές Αναλυτικής Χημείας

Η Αναλυτική Χημεία κατέχει *κεντρική θέση* (*central position*) στο πεδίο της Χημείας, παρουσιάζοντας τεράστια επιστημονική και πρακτική σημασία. Αποτελεί έναν από τους πλέον ενδιαφέροντες κλάδους της Εφαρμοσμένης Χημείας για τη μελέτη των ενώσεων και των μεταβολών που παρουσιάζουν αυτές.

Συγχρόνως όμως, αποτελεί αυτόνομο επιστημονικό κλάδο της Χημείας, θεωρούμενη ως ενδιαμέση επιστήμη, καθόσον στηρίζεται τόσο στις αρχές της Χημείας, όσο και της Φυσικής, της Βιολογίας, των Μαθηματικών και της Επιστήμης των Πληροφοριών.

Όλοι οι κλάδοι της Χημείας χρησιμοποιούν ιδέες και τεχνικές της Αναλυτικής Χημείας για την επίλυση των επιστημονικών τους θεμάτων. Ο σημαντικός ρόλος της Αναλυτικής Χημείας σε τομείς όχι μόνο της Χημείας, αλλά και σε εκείνους των



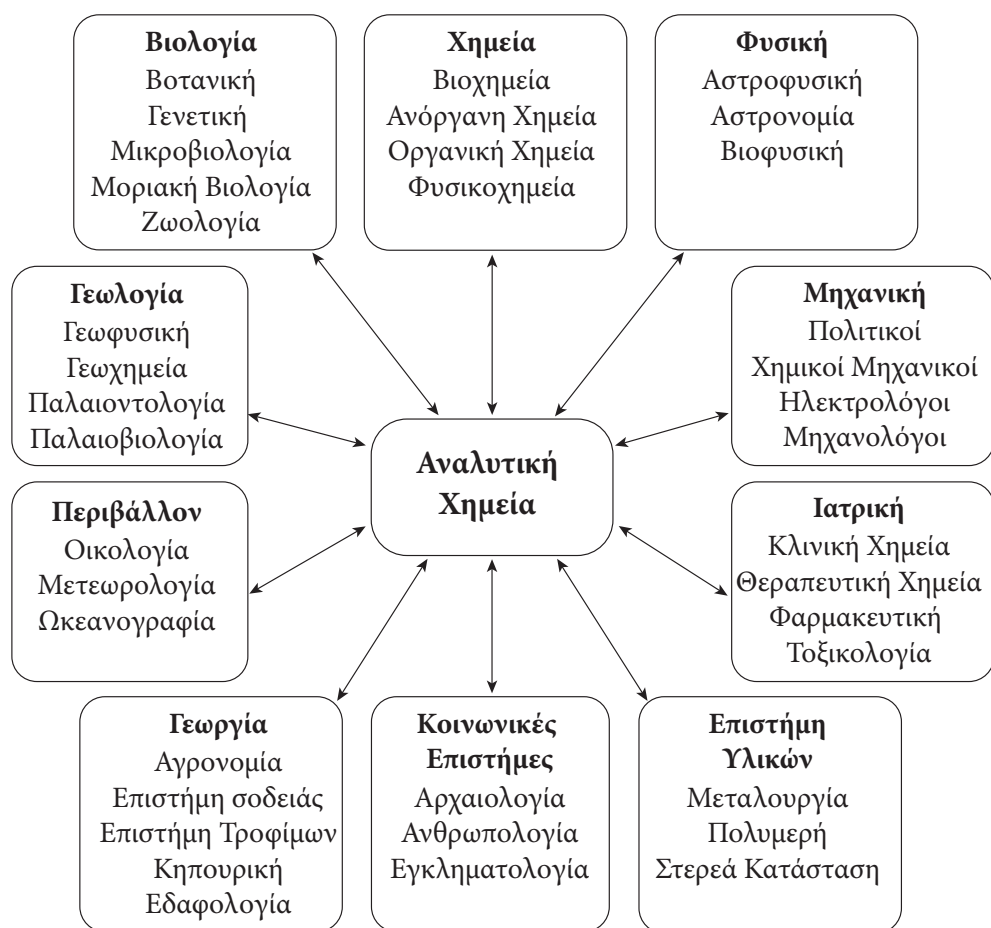
Σχήμα 1.2. Κατηγορίες αναλυτικών τεχνικών.



επιστημών που συνδέονται με τη Χημεία, απεικονίζεται στο σχήμα 1.3, όπου φαίνεται ξεκάθαρα η κεντρική θέση της.

Πολλοί χημικοί, βιοχημικοί, θεραπευτικοί χημικοί, χρησιμοποιούν στα εργαστήριά τους μεθόδους της Αναλυτικής Χημείας για την επίλυση επιστημονικών θεμάτων που σχετίζονται με την έρευνά τους.

Η σημασία της Αναλυτικής Χημείας και κατ' επέκταση της χημικής ανάλυσης είναι τεράστια στην εθνική οικονομία κάθε χώρας. Έτσι οι περισσότερες εταιρείες βιομηχανικών προϊόντων βασίζονται στην ποιοτική και ποσοτική χημική ανάλυση,



**Σχήμα 1.3.** Σχέση Αναλυτικής Χημείας με άλλους τομείς της Χημείας και άλλων επιστημών.

ώστε να μπορούν να ελέγχουν, αν οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες πληρούν ορισμένες προδιαγραφές.

Επίσης μπορούν να ελέγχουν την ποιότητα τελικών προϊόντων, που μπορεί να είναι φάρμακα, τρόφιμα, αγροτικά προϊόντα, λιπάσματα, χρήσιμα ορυκτά, συνθετικά προϊόντα κτλ.

Τέλος, το αποτέλεσμα μιας χημικής ανάλυσης οδηγεί σε αποφάσεις ιατρικού, τεχνολογικού ή και νομικού περιεχομένου, με σκοπό να στηρίξει ή να ορίσει μια δημόσια πολιτική της πολιτείας, π.χ. μέτρα κατά της φωτοχημικής ρύπανσης ή απόσυρσης τροφίμων, φαρμάκων κτλ., που δεν πληρούν τις ορθές προδιαγραφές παρασκευής και διάθεσής τους στην κατανάλωση.

## 1.6. Αρχές Αναλυτικές Χημείας

Για την άρτια εκτέλεση μιας χημικής ανάλυσης, είναι απαραίτητη η γνώση και η κατανόηση 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 *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, μέρος της ύλης του βιβλίου είναι αφιερωμένο στην ανάπτυξη και εκτεταμένη συζήτηση των αρχών εκείνων που βρίσκουν εφαρμογή στη χημική ανάλυση.

Οι αρχές που περιγράφονται διακρίνονται σε *βασικές* και *ειδικές*. Οι βασικές αρχές διακρίνονται σε *θεωρητικές* και *πρακτικές*.

Οι θεωρητικές βασικές αρχές αναφέρονται στις εξής έννοιες: *χημικές αντιδράσεις και χημικές εξισώσεις· διαλύματα, διαλυτότητα ουσιών και συγκέντρωση διαλυμάτων· ταχύτητα αντίδρασης και χημική ισορροπία· ισορροπίες ασθενών οξέων και βάσεων· ετερογενής χημική ισορροπία και γινόμενο διαλυτότητας· ισορροπίες συμπλόκων ιόντων· στατιστική και χειρισμός δεδομένων στην Αναλυτική Χημεία· χαρακτηρισμός και επικύρωση αναλυτικής μεθόδου.*

Οι πρακτικές βασικές αρχές αναφέρονται στις εξής έννοιες: *ασφάλεια εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας· χημικά αντιδραστήρια· λειτουργικότητα εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας.*

Οι ειδικές αρχές αναφέρονται στις κλασικές και ενόργανες τεχνικές και περιγράφονται στις πρώτες ενότητες των αντίστοιχων κεφαλαίων.

## Ερωτήσεις

1) Οι παρακάτω προτάσεις είναι σωστές ή λανθασμένες. Να δικαιολογηθεί σύντομα η κάθε απάντηση.

- α) Οι όροι *Αναλυτική Χημεία* και *Χημική Ανάλυση* είναι ταυτόσημοι.
- β) Ο Αναλυτικός Χημικός πρέπει να φροντίζει για την τήρηση της ορθής εργαστηριακής πρακτικής, προκειμένου να ελέγξει την ποιότητα των αναλύσεων ρουτίνας.
- γ) Η καθημερινή χημική ανάλυση δειγμάτων ρουτίνας πρέπει απαραίτητως να γίνεται από Αναλυτικούς Χημικούς.
- δ) Οι όροι *αναλύτης* και *δείγμα* ταυτίζονται.
- ε) Οι έννοιες *ανάλυση* και *προσδιορισμός* είναι τελείως διαφορετικές.
- ζ) Η τεχνική είναι εφαρμογή μιας μεθόδου, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ενός συγκεκριμένου αναλύτη σε μια συγκεκριμένη μήτρα δείγματος.
- η) Μια μέθοδος οδηγεί απαραίτητως σε μια απλή διαδικασία, και επομένως διαφορετικοί αναλυτές ή κρατικοί φορείς ελέγχου μπορούν να προσαρμόζουν τη μέθοδο, σύμφωνα με τις δικές τους ειδικές ανάγκες.
- θ) Ένα πρωτόκολλο συνήθως συναντάται, όταν η Αναλυτική Χημεία καλείται να στηρίξει ή να ορίσει μια δημόσια πολιτική.
- ι) Το πρωτόκολλο μπορεί να χρησιμοποιήσει μια διαδικασία, χωρίς αυτή προηγουμένως να έχει επικυρωθεί.
- κ) Ο ρόλος της ποιοτικής χημικής ανάλυσης είναι αφενός η ανίχνευση ή η ταυτοποίηση υπαρχόντων συστατικών σ' ένα δείγμα και αφετέρου ο προσδιορισμός της ποσοτικής αναλογίας κάθε συστατικού ή συγκεκριμένου συστατικού στο δείγμα.
- λ) Η ποιοτική χημική ανάλυση προηγείται της ποσοτικής σε μια αναλυτική διαδικασία.
- μ) Στις σταθμικές τεχνικές για τον προσδιορισμό ενός αναλύτη, η πειραματικά προσδιοριζόμενη οντότητα είναι η μάζα του, ενώ στις τιτλομετρικές, ο όγκος του πρότυπου διαλύματος που απαιτείται για να αντιδράσει ποσοτικά με ορισμένο όγκο διαλύματος του αναλύτη, σε μια καθορισμένη στοιχειομετρία χημική αντίδραση.
- ν) Οι φασματοσκοπικές τεχνικές βασίζονται στη μέτρηση του λόγου της μάζας προς το φορτίο των μορίων, ενώ στη φασματομετρία μάζας η μετρούμενη φυσική ιδιότητα είναι η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτι-

- νοβολίας με τα άτομα ή τα μόρια του αναλύτη ή η παραγωγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον αναλύτη.
- ξ) Οι αεριοχρωματογραφικές και οι υγροχρωματογραφικές τεχνικές αποτελούν υποκατηγορίες των διαχωριστικών τεχνικών, ενώ οι ποτενσιομετρικές και οι βολταμετρικές αποτελούν υποκατηγορίες των ηλεκτροχημικών τεχνικών.
- ο) Η Αναλυτική Χημεία κατέχει κεντρική θέση στο πεδίο της Χημείας, αποτελούσα αυτόνομο επιστημονικό κλάδο της με ευρύτατη εφαρμογή σε όλα τα επιστημονικά συναφή πεδία με τη Χημεία.
- π) Η Αναλυτική Χημεία, ενώ έχει τεράστια σημασία για την εθνική οικονομία μιας χώρας, τα αποτελέσματα μιας χημικής ανάλυσης δεν οδηγούν σε αποφάσεις ιατρικού, τεχνολογικού ή και νομικού περιεχομένου, με σκοπό να στηρίξει ή να ορίσει μια δημόσια πολιτική της πολιτείας.
- 2) Να δοθούν οι ορισμοί των εννοιών *Αναλυτική Χημεία* και *Χημική Ανάλυση*. Ποια είναι η απόρροια των ορισμών αυτών;
- 3) Τι νοείται με τον όρο *ορθή εργαστηριακή πρακτική*; Γιατί η πρακτική αυτή είναι σημαντική στα χημικά εργαστήρια;
- 4) Τι πρέπει να γνωρίζει ένας Αναλυτικός Χημικός προκειμένου να ελέγξει την ποιότητα μιας ανάλυσης ρουτίνας;
- 5) Να δοθεί η διαφορετικότητα των εννοιών *Αναλυτικός Χημικός* και *Αναλυτής μεθόδου ρουτίνας*.
- 6) Τι νοείται στην Αναλυτική Χημεία με τους όρους *δείγμα*, *αναλύτης*, *μήτρα*; Να ταυτοποιηθούν οι οντότητες αυτές στις παρακάτω περιπτώσεις: α) προσδιορισμός θείου σε γαιάνθρακα, β) ανάλυση φαρμακευτικής ουσίας σε δισκίο, γ) προσδιορισμός CO σε εκπεμπόμενο καπνό βιομηχανικής μονάδας παραγωγής.
- 7) Να γίνει διάκριση των εννοιών *ανάλυση δείγματος* και *προσδιορισμός αναλύτη* σ' ένα δείγμα.
- 8) Να αναφερθεί η διαφορά των εννοιών *τεχνική* και *μέθοδος*, παραθέτοντας ένα παράδειγμα.
- 9) Να γίνει διάκριση μεταξύ των όρων *διαδικασία* και *πρωτόκολλο*.
- 10) Να δοθεί ένα παράδειγμα, όπου φαίνεται η διαφορετικότητα των εννοιών *μέθοδος* και *διαδικασία*.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

---

# ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 15.1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι ανάγκες της κοινωνίας, με τις τόσες απαιτήσεις, προκάλεσαν την αύξηση σωρείας προβλημάτων στη χημική ανάλυση, τα οποία κανείς δεν μπορούσε να φανταστεί, πριν από λίγα χρόνια. Επομένως γίνεται σαφές ότι για την επίλυση των νέων πιεστικών προβλημάτων, απαιτείται η λήψη αναλυτικών πληροφοριών ενός μεγάλου αριθμού εργαστηριακών προβλημάτων.

Όλη σχεδόν η ανθρώπινη δραστηριότητα (υγεία, οικολογία, βιομηχανία, διατροφή) επηρεάζεται βαθιά από την ανάγκη ενός αυξανόμενου και αυστηρότερου ελέγχου ενός μεγάλου αριθμού δειγμάτων, στα οποία ένας σημαντικός αριθμός συστατικών πρέπει να προσδιοριστεί σε πάρα πολύ χαμηλή συγκέντρωση.

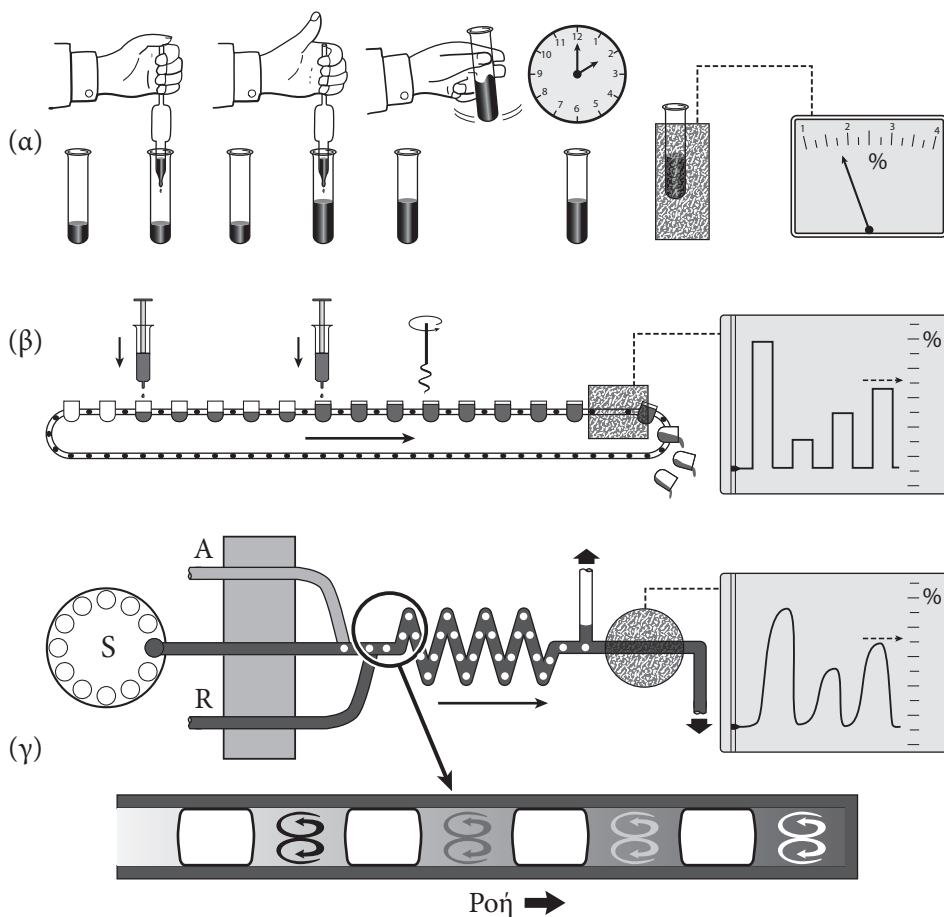
Επίσης το κόστος των αναλύσεων πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα και τα πειραματικά αποτελέσματα πρέπει να είναι αξιόπιστα και άμεσα διαθέσιμα.

Η επίλυση των παραπάνω προβλημάτων επιτυγχάνεται σήμερα με τη μερική ή την πλήρη αντικατάσταση του ανθρώπινου δυναμικού σε μια εργαστηριακή διαδικασία, δηλαδή με την *αυτοματοποίηση* μιας αναλυτικής *συμβατικής* ή *χειροκίνητης* τεχνικής (*batch technique*) ή γενικότερα ενός ολόκληρου αναλυτικού εργαστηρίου.

Ως *αυτοματοποίηση* ορίζεται η *συνδυασμένη χρήση μηχανικών και ενόργανων συσκευών*, με σκοπό την αντικατάσταση, βελτίωση, επέκταση ή συμπλήρωση της ανθρώπινης προσπάθειας στην πραγματοποίηση μιας δεδομένης διεργασίας, στην οποία, τουλάχιστον ένα κύριο στάδιο, ελέγχεται από ένα σύστημα ανάδρασης (*feedback system*), χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου.

Το σύστημα ανάδρασης είναι μια ενόργανη συσκευή, η οποία μπορεί ταυτόχρονα να δέχεται ή να δίνει εντολές, με σκοπό την τροποποίηση μιας δεδομένης διεργασίας μιας αυτόματης διάταξης.

Σημειώνεται ότι η αυτοματοποίηση δεν θα μπορούσε ποτέ να πραγματοποιη-



**Σχήμα 15.1.** Παραλληλισμός μεταξύ «δια χειρός» διεργασίας και αυτοματοποιημένων διεργασιών, που εκτελούνται σε απλή φωτομετρική ανάλυση: α) «χειροποίητη» μέθοδος, β) αναλυτής διάκριτων αναλύσεων με ιμάντα μεταφοράς, γ) αναλυτής συνεχούς αεροδιαχωριζόμενης ροής. A: αέρας, S: δείγματα, R: αντιδραστήριο.

έχει. Οι υποδοχείς των δειγμάτων φέρουν γραμμωτό κώδικα (*bar-code*), ο οποίος χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των δειγμάτων από τον μικροϋπολογιστή, ο οποίος ελέγχει τον αναλυτή.

Μειονέκτημα των αναλυτών αυτών είναι η πολύπλοκη μηχανική κατασκευή τους.

### Αναλυτές ροής

Στους αναλυτές αυτούς, τα δείγματα, συνήθως υγρά, εισάγονται διαδοχικώς, σε τακτά χρονικά διαστήματα, σ' ένα κανάλι, το οποίο μεταφέρει ένα υγρό ή, σπανίως, ένα αέριο συστατικό, που ονομάζεται *μεταφορέας*. Το κανάλι του μεταφορέα, στην πορεία του προς τον ανιχνευτή, συγχωνεύεται με άλλα αντιδραστήρια, π.χ. ρυθμιστικά διαλύματα, επικαλυπτικά αντιδραστήρια κτλ. Τελικώς το προϊόν της αντίδρασης φτάνει στον ανιχνευτή, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με μια κυψελίδα συνεχούς ροής (σχήμα 15.2), οπότε το λαμβανόμενο σήμα (ύψος κορυφής ή εμβαδόν κορυφής) είναι ανάλογο προς τη συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου συστατικού.

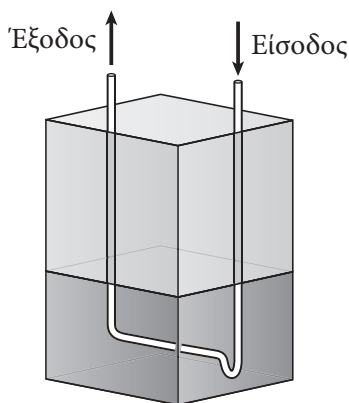
Συμπεραίνεται λοιπόν ότι οι αναλυτές ροής έχουν μεγαλύτερη ευελιξία και δεν περιορίζονται μόνο σε κλινικές εφαρμογές.

Υπάρχουν τα εξής είδη αναλυτών ροής:

**Αναλυτές συνεχούς ροής με διακοπτόμενα τμήματα (segmented flow analyzers, SFA).** Στους αναλυτές αυτούς τα διάφορα δείγματα προφυλάσσονται από τυχόν μόλυνση με διακοπτόμενα τμήματα φυσαλίδων αέρα, οι οποίες όμως απομακρύνονται, πριν από τον ανιχνευτή. Ο τύπος του αναλυτή αυτού ονομάζεται και *αναλυτής αεροδιαχωριζόμενης ροής (air-segmented flow analyzer)*.

**Αναλυτές συνεχούς ροής χωρίς διακοπτόμενα τμήματα (unsegmented low analyzers).** Οι αναλυτές της κατηγορίας αυτής υποδιαιρούνται σε δύο υποκατηγορίες, αναλόγως με τον τρόπο εισαγωγής του δείγματος:

1) Αναλυτές στους οποίους το δείγμα εκχύεται, σε τακτά χρονικά διαστήματα, υπό συνεχή ροή (*flow injection analyzers, FIA*).



Σχήμα 15.2. Κυψελίδα συνεχούς ροής.

2) Αναλυτές πλήρους συνεχούς ροής (*completely continuous flow analyzers, CCFA*), στους οποίους γίνεται συνεχής εισαγωγή του δείγματος μέσα στο σύστημα, χωρίς έγχυση.

### Ρομποτικοί αναλυτές

Οι αναλυτές αυτοί, συχνά αποκαλούμενοι «ρομποτικοί σταθμοί», βασίζονται στη χρησιμοποίηση μικρορομπότ μεγάλης ακρίβειας, τα οποία μιμούνται τις κινήσεις ενός ανθρώπινου χειριστή, σ' όλα τα στάδια μιας αναλυτικής διεργασίας. Συνήθως ένας μικροϋπολογιστής ελέγχει τόσο τις κινήσεις του ρομπότ, όσο και τη λειτουργία των διαφόρων τμημάτων του αναλυτή.

## 15.5. Αυτόματοι αναλυτές με έγχυση δείγματος σε συνεχή ροή

Τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αναλυτών με έγχυση του δείγματος σε συνεχή ροή (FIA) είναι:

- 1) Ροή χωρίς διακοπτόμενα τμήματα.
- 2) Απευθείας έγχυση του δείγματος.
- 3) Ελεγχόμενη μερική διασπορά της ζώνης του δείγματος.
- 4) Μη επίτευξη φυσικής και χημικής ισορροπίας.
- 5) Επαναλήψιμος χρόνος λειτουργίας.

Οι γενικές αρχές λειτουργίας της FIA περιγράφονται ως ακολούθως:

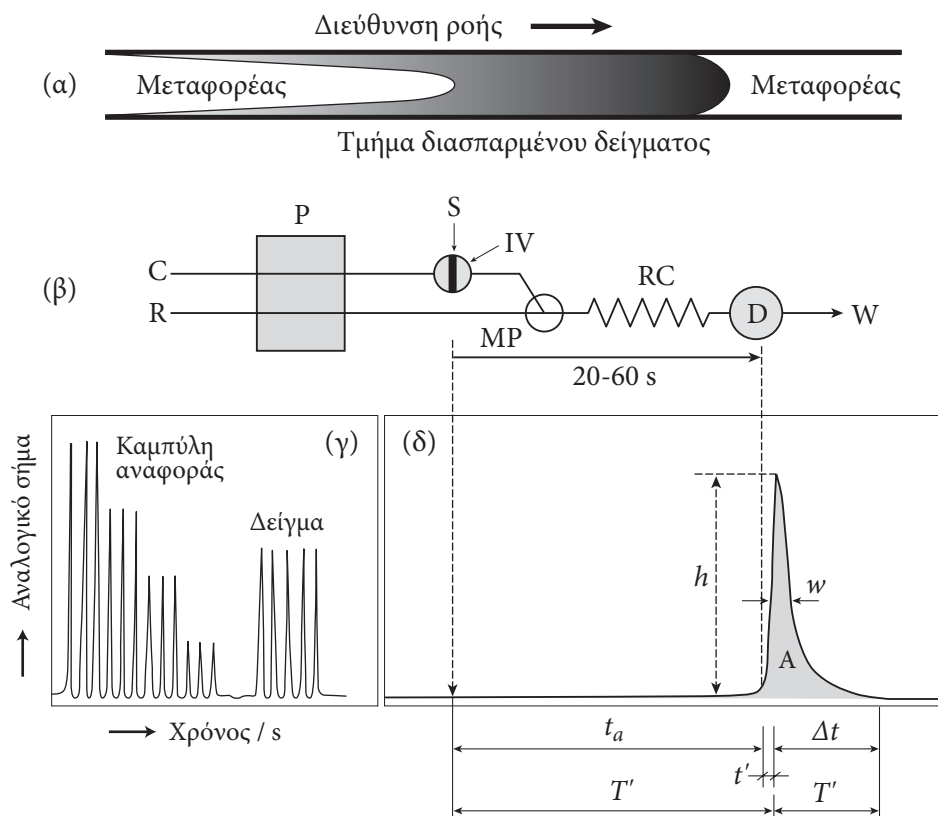
Η τεχνική βασίζεται στην έγχυση ενός υγρού δείγματος (*sample, S*), αυστηρώς καθορισμένου όγκου, με μια βαλβίδα έγχυσης (*injection valve, IV*), με άριστη επαναληψιμότητα, μέσα σ' ένα υγρό ρεύμα μεταφορέα (*carrier, C*), που κινείται συνεχώς, χωρίς διακοπτόμενα τμήματα.

Ο μεταφορέας συνήθως αποτελείται από ένα αδρανές διάλυμα ως προς το δείγμα, και προωθείται μέσα στο σύστημα με μια *περισταλτική αντλία* (*peristaltic pump, P*), μέσα από ένα λεπτό σωλήνα, ενώ η εισαγωγή του δείγματος δεν γίνεται διά μέσου της αντλίας. Το δείγμα σχηματίζει μια ζώνη, η οποία γρήγορα διασπείρεται στον μεταφορέα και περιβάλλεται απ' αυτόν (σχήμα 15.3α).

Στη συνέχεια το ρεύμα του μεταφορέα με το δείγμα ενώνεται στο *σημείο συγχώνευσης* (*merging point, MP*) με ένα ρεύμα κατάλληλου *αντιδραστηρίου* (*reagent -R*), το οποίο επίσης προωθείται με την περισταλτική αντλία, οπότε αρχίζει η αντίδραση μεταξύ του δείγματος και του αντιδραστηρίου.

Κατόπιν, το συνολικό ρεύμα δείγματος, αντιδραστηρίου, αρχικώς σχηματιζόμενου προϊόντος –μεταξύ του δείγματος και του αντιδραστηρίου– διέρχεται διά μέσου του *σπειράματος αντίδρασης* (*reaction coil, RC*), όπου δίνεται η χρονική δυ-





**Σχήμα 15.3.** α) Απλοποιημένη απεικόνιση της ζώνης του δείγματος σ' ένα σύστημα FIA, μετά από μερική διασπορά. β) Τυπικό διάγραμμα FIA δύο καναλιών. γ) Τυπικά καταγραφήματα ανιχνευτή FIA, με μικρή ταχύτητα του καταγραφέα. Παριστάνονται τα καταγραφήματα της καμπύλης αναφοράς (4 πρότυπα διαλύματα, 3 εκχύσεις ανά διάλυμα) και του άγνωστου δείγματος (5 εκχύσεις ανά δείγμα). δ) Τυπικό καταγράφημα ανιχνευτή FIA, με μεγάλη ταχύτητα του καταγραφέα, όπου φαίνονται οι χαρακτηριστικές παράμετροι του καταγραφήματος.

νατότητα να γίνει η ανάμειξη και η αντίδραση μεταξύ του δείγματος και του αντιδραστήριου.

Τέλος το συνολικό ρεύμα που περιέχει πλέον το προϊόν της αντίδρασης διέρχεται από την κυψελίδα συνεχούς ροής του ανιχνευτή (detector, D), οπότε καταγράφεται συνεχώς μία φυσική παράμετρος του σχηματιζόμενου προϊόντος και τε-

λικώς το συνολικό ρεύμα καταλήγει στα *απόβλητα* (*waste, W*). Στο σχήμα 15.3β φαίνονται όλες οι παραπάνω διεργασίες.

Στο σχήμα 15.3γ παριστάνονται τα καταγραφήματα ενός ανιχνευτή FIA, που αναφέρονται στην καμπύλη αναφοράς και το άγνωστο δείγμα, ενός τυπικού προσδιορισμού.

Από το σχήμα αυτό φαίνεται ξεκάθαρα η άριστη επαναληψιμότητα των λαμβανόμενων σημάτων, για πολλαπλές εκχύσεις διαφόρων δειγμάτων. Επίσης στο σχήμα 15.3δ φαίνεται ένα τυπικό καταγράφημα ανιχνευτή FIA με τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του, το οποίο έχει τη μορφή μιας κορυφής. Οι χαρακτηριστικές παράμετροι της κορυφής είναι:

**Ύψος κορυφής (peak height,  $h$ ).** Σχετίζεται με τη συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου συστατικού του εκχυόμενου δείγματος. Η συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου συστατικού σχετίζεται επίσης και με το εμβαδόν  $A$  ή το πλάτος  $W$  της κορυφής σε ορισμένο ύψος.

**Χρόνος παραμονής (residence time,  $T$ ).** Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την έγχυση του δείγματος μέχρι την εμφάνιση του μεγίστου της κορυφής.

**Χρόνος διαδρομής (travel time,  $t_\alpha$ ).** Είναι η χρονική στιγμή που μεσολαβεί από την έγχυση του δείγματος μέχρι την έναρξη ανύψωσης της κορυφής (1-2% αύξηση πάνω από τη βασική γραμμή).

Η διαφορά μεταξύ του χρόνου παραμονής και του χρόνου διαδρομής

$$t' = T - t_\alpha \quad (15-1)$$

είναι συνήθως πολύ μικρή, χαρακτηριστικό των κορυφών FIA.

**Χρόνος επιστροφής (return time,  $T'$ ).** Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της εμφάνισης του μεγίστου της κορυφής και της επιστροφής στη βασική γραμμή.

**Χρόνος βασικής γραμμής προς βασική γραμμή (baseline-to-baseline time  $\Delta t$ ).** Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της έναρξης του σήματος και της επιστροφής του στη βασική γραμμή.

Από τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει ότι:

$$T + T' = t_\alpha + \Delta t \quad (15-2)$$

$$\Delta t = t' + T' \quad (15-3)$$

Το ύψος  $h$ , το εμβαδόν  $A$  ή το εύρος  $W$  σε ορισμένο ύψος μιας κορυφής FIA σχετίζονται με τη συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου συστατικού. Η συγκέντρωση βρίσκεται από καμπύλη αναφοράς, και όταν η ανίχνευση γίνεται με ανι-

χνευτές γραμμικής απόκρισης, τότε χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$h = k_1 c \quad (15-4)$$

$$A = k_2 c \quad (15-5)$$

$$w = a + k_3 \log c \quad (15-6)$$

όπου  $k_1$ ,  $k_2$  και  $k_3$  είναι συντελεστές αναλογίας και  $a$  η τεταγμένη επί την αρχή.

Επιπροσθέτως, από τη μέτρηση του ύψους της κορυφής, η μέτρηση της απόστασης οποιουδήποτε σημείου του ανερχόμενου ή του κατερχόμενου τμήματος της κορυφής από τη βασική γραμμή, μπορεί να αξιοποιηθεί για τον προσδιορισμό ενός συστατικού σ' ένα δείγμα. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί τη βάση των προσδιορισμών με τις τεχνικές FIA *βαθμιδωτής συγκέντρωσης* (FIA *gradient techniques*) ή όπως αλλιώς ονομάζονται *τεχνικές δυναμικής εξασθένησης* (*dynamic attenuation techniques*).

Όταν ο ανιχνευτής είναι λογαριθμικής απόκρισης, η μέτρηση του εμβαδού της κορυφής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, γιατί η σχέση μεταξύ του εμβαδού της κορυφής και της συγκέντρωσης του προσδιοριζόμενου συστατικού παύει πλέον να είναι γραμμική, αφού η περιοχή που βρίσκεται κοντά στη βασική γραμμή έχει διαφορετική βαρύτητα από την περιοχή που βρίσκεται κοντά στην κορυφή.

Η μέτρηση του πλάτους της κορυφής δίνει μεγαλύτερη δυναμική περιοχή μετρήσεων, αλλά είναι λιγότερο ακριβής απ' ό,τι οι μετρήσεις του ύψους της κορυφής ή του εμβαδού της. Γίνεται σε μονάδες χρόνου και αποτελεί τη βάση των *τιτλομετρήσεων* FIA (FIA *titrations*).

### 15.5.1. Πλεονεκτήματα της FIA

Η εμφάνιση της τεχνικής FIA οριοθέτησε μια νέα εποχή στις αυτοματοποιημένες μεθόδους ανάλυσης. Η τεχνική εισάγει σημαντικές βελτιώσεις και παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες αυτόματες αναλυτικές τεχνικές, όπως:

**Οικονομία χρόνου.** Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι συνήθως 200-700 εκχύσεις ανά ώρα.

**Μεγάλη επαναληψιμότητα.** Τούτο οφείλεται: στην επαναλήψιμη έγχυση καθορισμένου όγκου δείγματος, στην ελεγχόμενη διασπορά της ζώνης του δείγματος και στον επαναλήψιμο χρόνο της μετακίνησης της ζώνης του δείγματος από το σημείο έγχυσης μέχρι τον ανιχνευτή.

**Ακρίβεια.** Η ακρίβεια είναι πολύ μεγάλη και συγκρίνεται μ' αυτήν των συμβατικών μεθόδων.

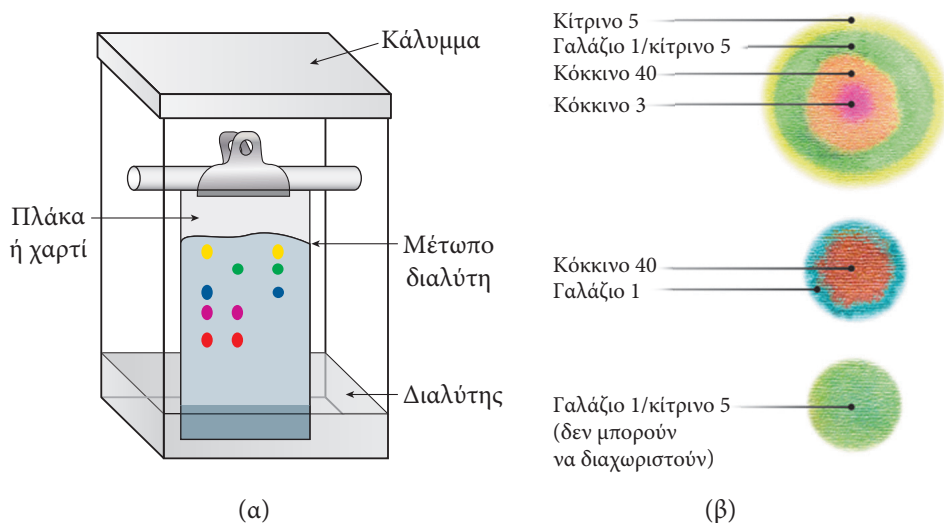
### 17.1.1. Χρωματογραφία λεπτής στιβάδας

Στη χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC), το δείγμα τοποθετείται με τη μορφή κηλίδων και στη συνέχεια ρέει μέσω ενός λεπτού στρώματος προσροφητικού υλικού (στατική φάση), με το οποίο είναι επικαλυμμένη η επιφάνεια μιας γυάλινης πλάκας (σχήμα 17.2α). Το κάτω άκρο της πλάκας τοποθετείται σε διαλύτη. Η ροή δημιουργείται λόγω τριχοειδών φαινομένων, καθώς ο διαλύτης (κινητή φάση) διαχέεται στο ξηρό στρώμα των σωματιδίων του προσροφητικού υλικού και μετακινείται ανοδικά στη γυάλινη πλάκα.

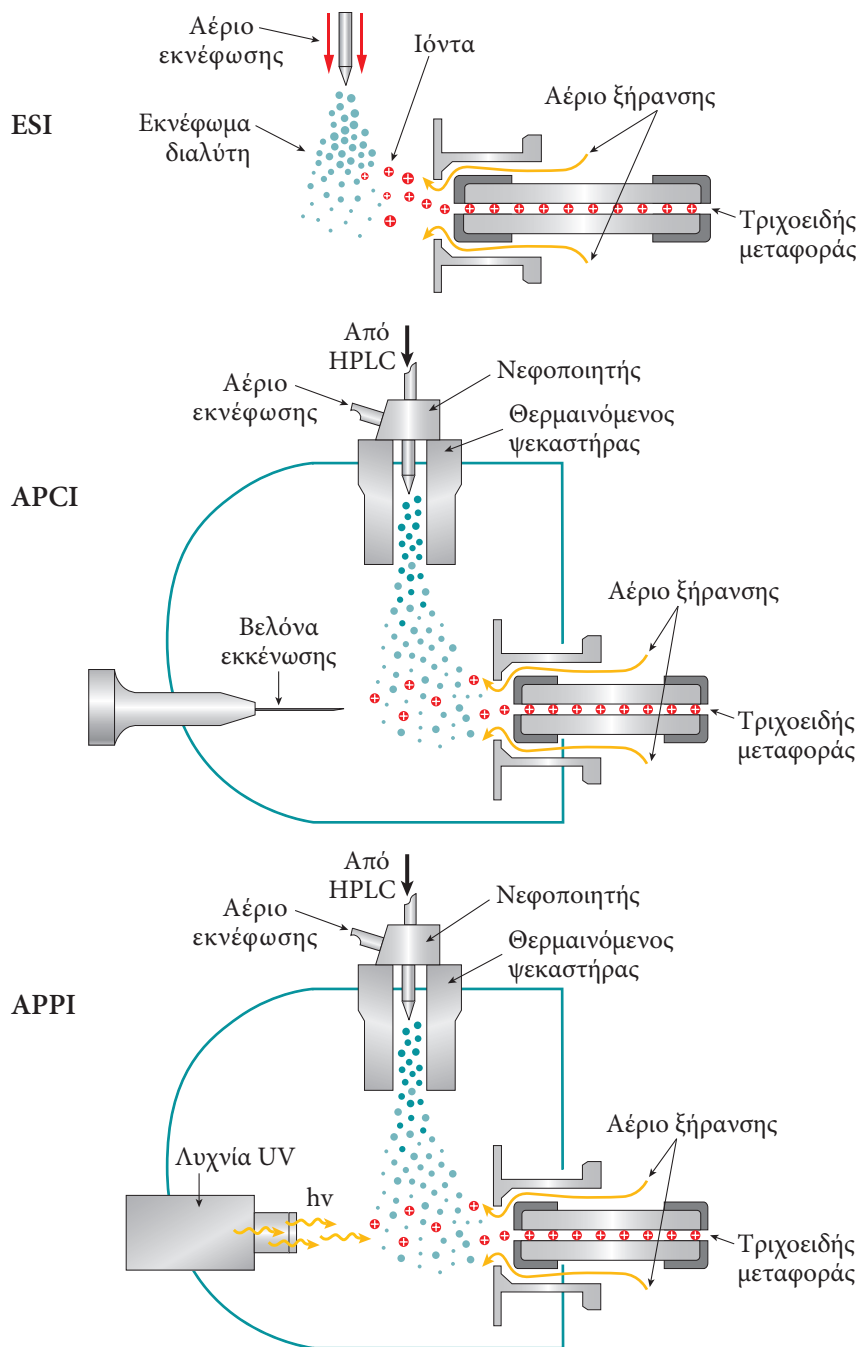
### 17.1.2. Χρωματογραφία χάρτου

Στη χρωματογραφία χάρτου, τα δείγματα τοποθετούνται με τη μορφή κηλίδων σε φύλλο χαρτιού. Η κλασική χρωματογραφία χάρτου διεξάγεται με τρόπο παρόμοιο με εκείνο της TLC, με γραμμική ροή (σχήμα 17.2α).

Μια άλλη μορφή χρωματογραφίας χάρτου, είναι αυτή με ακτινική ροή, όπου τα δείγματα τοποθετούνται με τη μορφή κηλίδων σε φύλλο χαρτιού, επάνω στο οποίο είναι ακινητοποιημένος υγρός διαλύτης (στατική φάση). Ο διαλύτης (κινητή φάση) προσθέτεται στη συνέχεια στο κέντρο των κηλίδων, για να δημιουργήσει μια ακτινική ροή προς την περιφέρεια της κηλίδας. Στο σχήμα 17.2β φαίνεται ο διαχωρι-



**Σχήμα 17.2.** α) Χρωματογραφία λεπτής στιβάδας και χρωματογραφία χάρτου με γραμμική ροή. β) Χρωματογραφία χάρτου με ακτινική ροή.



Σχήμα 18.6. Τεχνικές ιοντισμού υπό ατμοσφαιρική πίεση.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

---

### ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΑΛΥΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 1)  $\text{Cu}_2\text{S(s)} + 10\text{NO}_3^- + 12\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 2\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 10\text{NO}_2(\text{g}) + 18\text{H}_2\text{O}$
- 2)  $5\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 10\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{Mn}^{2+} + 24\text{H}_2\text{O}$
- 3)  $8\text{Al(s)} + 3\text{NO}_3^- + 5\text{OH}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 8\text{AlO}_2^- + 3\text{NH}_3(\text{g})$
- 4)  $5\text{H}_2\text{S(g)} + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 5\text{S(s)} + 2\text{Mn}^{2+} + 14\text{H}_2\text{O}$
- 5)  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{O}_2(\text{g}) + 14\text{H}_2\text{O}$
- 6)  $3\text{Sn}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 3\text{Sn}^{4+} + 2\text{Cr}^{3+} + 21\text{H}_2\text{O}$
- 7)  $10\text{Cr}^{3+} + 6\text{MnO}_4^- + 33\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 5\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{Mn}^{2+} + 22\text{H}_3\text{O}^+$
- 8)  $\text{PbS(s)} + 4\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}$
- 9)  $3\text{CdS(s)} + 2\text{NO}_3^- + 8\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 3\text{Cd}^{2+} + 3\text{S(s)} + 2\text{NO(g)} + 12\text{H}_2\text{O}$
- 10)  $2\text{Mn}^{2+} + 5\text{PbO}_2(\text{s}) + 4\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 2\text{MnO}_4^- + 5\text{Pb}^{2+} + 6\text{H}_2\text{O}$
- 11)  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 14\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{CO}_2(\text{g}) + 21\text{H}_2\text{O}$
- 12)  $3\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 16\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow 3\text{CH}_3\text{COOH} + 4\text{Cr}^{3+} + 27\text{H}_2\text{O}$

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- 6) 33,33 mL
- 7) 63,6 mg L<sup>-1</sup>
- 8) 15 mL
- 9) 2,8514 g
- 10) 50 mL
- 11) 0,07 mol L<sup>-1</sup>
- 12) 98
- 13) 0,055 mol L<sup>-1</sup>
- 14) 223,4 mg
- 15) 34,8 mL

- 16)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + 2[\text{HPO}_4^{2-}] + 3[\text{PO}_4^{3-}]$
- 17)  $[\text{Na}^+] + 2[\text{Ba}^{2+}] + 3[\text{Al}^{3+}] = [\text{ClO}_4^-] + [\text{NO}_3^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-] + [\text{OH}^-]$
- 18)  $2[\text{Cd}^{2+}] + [\text{H}_3\text{O}^+] = 2[\text{S}^{2-}] + [\text{HS}^-] + [\text{OH}^-]$
- 19)  $[\text{CH}_3\text{COOH}] + [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,3 \text{ mol L}^{-1}$
- 20)  $[\text{HNO}_2] + [\text{NO}_2^-] = 0,06 \text{ mol L}^{-1}$
- 21) α)  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$   
 β)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$
- 22) Φορτίου :  $2[\text{Ca}^{2+}] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{F}^-]$   
 Μάζας : α)  $[\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2}([\text{F}^-] + [\text{HF}])$ , β)  $[\text{OH}^-] = [\text{HF}] + [\text{H}_3\text{O}^+]$
- 23) Φορτίου :  $[\text{NH}_4^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-] + [\text{OH}^-]$   
 Μάζας : α)  $[\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] = 2([\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-])$   
 β)  $[\text{OH}^-] = [\text{HSO}_4^-] + [\text{H}_3\text{O}^+]$   
 γ)  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{NH}_3] + [\text{OH}^-]$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

- 6)  $v = kc(\text{A})^2$ ,  $5 \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$ ,  $1,8 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- 7) 4,027
- 8)  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ I}_2$ ,  $4,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ I}^-$ ,  $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} [\text{I}_3]^-$
- 9) 28,05%,  $0,7195 \text{ mol L}^{-1} \text{ HI}$ ,  $0,1403 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2$ ,  $0,1403 \text{ mol L}^{-1} \text{ I}_2$
- 10) όχι, 18 L
- 11)  $0,3176 \text{ mol L}^{-1} \text{ Ag}^+$ ,  $0,2176 \text{ mol L}^{-1} \text{ Fe}^{2+}$ ,  $0,1824 \text{ mol L}^{-1} \text{ Fe}^{3+}$
- 12) 85
- 13) 1,8783 g
- 14) 94,74%
- 15) 3,85%, 0,55%
- 16) 2,7%

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

- 8) 1,9 mmol
- 9) μειώνεται κατά ~943 φορές
- 10)  $189,47 \text{ g mol}^{-1}$

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Ο αριθμός σελίδας δίπλα σε κάθε σύμβολο είναι εκείνος στον οποίο το σύμβολο αναφέρεται για πρώτη φορά.

$a$	βαθμός αντίδρασης, 69	$A_T$	συνολική απορρόφηση αναλύτη και υποβάθρου, 477
$a$	βαθμός διάστασης ηλεκτρολύτη, 102	$A_x$	απορρόφηση δείγματος άγνωστης συγκέντρωσης αναλύτη, 415
$a$	παράγοντας διαχωρισμού, 607	$A^{b-}$	ανιόν δυσδιάλυτου ηλεκτρολύτη $M_pA_q$ , 170
$a$	πειραματική τάξη αντίδρασης οντότητας A, 61		
$a$	τεταγμένη επί την αρχή, 246		
$a_a$	βαθμός διάστασης ασθενούς μονοπρωτικού οξέος, 114	$\beta$	ολική σταθερά σχηματισμού συμπλόκου ιόντος, 216
$a_{a1}, \dots, n$	διαδοχικοί βαθμοί διάστασης ασθενούς πολυπρωτικού οξέος, 125	$\beta$	πειραματική τάξη αντίδρασης οντότητας B, 61
$a_{A, B}$	παράγοντας διαχωρισμού ουσιών A και B, 83	$\beta$	ρυθμιστική χωρητικότητα, 148
$a_b$	βαθμός διάστασης ασθενούς μονοπρωτικής βάσης, 115	$b$	κλίση γραμμικής καμπύλης βαθμονόμησης, 246
$a_{b1}, \dots, n$	διαδοχικοί βαθμοί διάστασης ασθενούς πολυπρωτικής βάσης, 125	$b$	μήκος διαδρομής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, 394
$a$	στοιχειομετρικός αριθμός οντότητας A, 16	$b$	στοιχειομετρικός αριθμός οντότητας B, 16
$a$	τάξη στοιχειώδους αντίδρασης οντότητας A, 63	$b$	τάξη στοιχειώδους αντίδρασης οντότητας B, 63
$A$	απορρόφηση, 394	$B/u$	διάχυση κατά μήκος στήλης, 606
$A$	εμβαδόν, 543		
$A$	στροβιλώδης διάχυση, 605	$\gamma$	συγκέντρωση μάζας, 44
$A_A$	απορρόφηση αναλύτη, 477	$c$	στοιχειομετρικός αριθμός οντότητας C, 16
$A_B$	απορρόφηση υποβάθρου, 477	$c$	συγκέντρωση ποσότητας, 41
$A_I$	απορρόφηση εσωτερικού προτύπου, 490	$c$	συγκέντρωση ποσότητας, μετά τη διασπορά σε συστήματα ροής, 546
$A_r$	σχετική ατομική μάζα, 39	$c^o$	συγκέντρωση ποσότητας πριν τη διασπορά σε συστήματα ροής, 546
$A_s$	απορρόφηση εμβολιασμένου πρότυπου διαλύματος, 415		



$c^{\ominus}$	πρότυπη συγκέντρωση ποσότητας, 128	$\Delta n$	μεταβολή ποσότητας οντότητας, 58
$c_a$	συγκέντρωση ποσότητας ασθενούς μονοπρωτικού οξέος, 114	$\Delta t$	χρόνος βασικής γραμμής προς βασική γραμμή, 542
$c'_a$	συγκέντρωση ποσότητας ισχυρού μονοπρωτικού οξέος, 118	$ \Delta Z $	μεταβολή αριθμού οξείδωσης, 31
$c_b$	συγκέντρωση ποσότητας ασθενούς μονοπρωτικής βάσης, 115	$\varepsilon$	μολαρική απορροφητικότητα, 394
$c'_b$	συγκέντρωση ποσότητας ισχυρής βάσης, 120	$e$	απόλυτο σφάλμα, 240
$c_L$	όριο ανίχνευσης, 281	$e$	στοιχειώδες φορτίο, 14
$c_Q$	όριο ποσοτικού προσδιορισμού, 282	$e_r$	σχετικό σφάλμα, 240
$c_{r, aq}$	συγκέντρωση ποσότητας στην υδατική φάση μετά από $r$ εκχυλίσσεις, 85	$e^-$	ηλεκτρόνιο, 24
$c_s$	συγκέντρωση ποσότητας άλατος, 119	$E_{1, aq}$	κλάσμα της ποσότητας της ουσίας στην υδατική φάση μετά από μία εκχύλιση, 84
$c_s$	συγκέντρωση ποσότητας εμβολιασμένου αναλύτη, 416	$E_{2, aq}$	κλάσμα της ποσότητας της ουσίας στην υδατική φάση μετά από δύο εκχυλίσσεις, 86
$c_S^o$	μέγιστη συγκέντρωση ποσότητας, πριν τη διασπορά στο μέγιστο της κορυφής, 546	$E_{r, aq}$	κλάσμα της ποσότητας της ουσίας στην υδατική φάση μετά από $r$ εκχυλίσσεις, 85
$c_S^{\max}$	συγκέντρωση ποσότητας στο μέγιστο της κορυφής, μετά τη διασπορά, 546	$E_{1, org}$	κλάσμα της ποσότητας της ουσίας που εκχυλίζεται μετά από μία εκχύλιση, 84
$c_{st}$	συγκέντρωση ποσότητας πρότυπου διαλύματος, 416	$E_{2, org}$	κλάσμα της ποσότητας της ουσίας στην οργανική φάση μετά από δύο εκχυλίσσεις, 86
$C$	coulomb, 14	$\phi$	κλάσμα όγκου, 45
$C$	μεταφορέας, 540	$f$	ικανότητα φθορισμού προσδιοριζόμενης ένωσης, 618
$C_u$	συνεισφορά μεταφοράς μάζας στη στατική και κινητή φάση, 606	$F$	ένταση ακτινοβολίας φθορισμού, 618
$d$	ατομικό τροχιακό, 213	$F$	ταχύτητα ροής, 605
$d$	στοιχειομετρικός αριθμός οντότητας D, 16	$g$	αέρια φάση, 15
$d_i$	απόκλιση μιας επί μέρους μέτρησης, 242	$G$	ομάδα περιοδικού συστήματος, 20
$d_i^-$	μέση απόκλιση μιας σειράς μετρήσεων, 242	$h$	βαθμός υδρόλυσης, 132
$D$	λόγος κατανομής, 82	$h$	σταθερά Planck, 15
$D$	συντελεστής διασποράς, 546	$h$	ύψος κορυφής, 542
$D_S^{\max}$	συντελεστής διασποράς στο μέγιστο της κορυφής, 546	$h_o$	ύψος κορυφής, πριν τη διασπορά, 546
$D$	ανιχνευτής, 541	$h_{\max}$	ύψος κορυφής, μετά τη διασπορά, 546
$\Delta$	επίδραση θερμότητας, 15	$H$	ισοδύναμο ύψος θεωρητικών πλακών, 605

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

### Α

- α, α' διπυριδίλιο, 221
- αβεβαιότητα, 235, 239
- Αγωγιμομετρικός ανιχνευτής, 619
- Αγωγιμότητας ηλεκτροχημικός ανιχνευτής, 674
  - » θερμικής » , 670
- Αδρανή σύμπλοκα, 218
- Αδρανής διαλύτης, 106
- Αδρανούς στερεού υποστρώματος εκχύλιση, 591
- Αέρια διαλύματα, 37
  - » – στερεή χρωματογραφία, 598, 658
  - » – υγρή » , 598, 658
  - » φάση, 15
  - » χρωματογραφία, 598, 599, 637, 657
  - » χρωματογραφία-φασματομετρία μαζών, 673, 679
- Αέρια χρωματογραφία-φασματομετρία υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier, 675
- Αέριος φάσης ιοντισμός, 624
- Αεριοδιαχωριζόμενης ροής αναλύτης, SFA, 539
- Αέριο σύγκρουσης, 687
- Αερίων διάχυση, 557, 575
- Αερόλυμα, 453
- Αεροφόρος ρύπος, 420
- Αζώτου-φωσφόρου ανιχνευτής, 673
- Αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ, 215
- Αισθητήρας, 567
- Ακόρεστο διάλυμα, 37, 194, 197
- Ακρίβεια, 239
- Ακριβής εργαστηριακή τεχνική, 299
- Ακτίνα ατόμου, 213
- Ακτίνες λείξερ, 507
- Ακτινική παρατήρηση πλάσματος, 497
- Ακτινοβολία ανάρσχεσης, 497
- Ακτινοβολίας συχνότητα, 15
- Ακτινοβολιών επίδραση στην ταχύτητα αντίδρασης, 67
- Άλας Mohr, 359
- Άλατα, 101, 129
  - » αμμωνιακά, 185
  - » δυσδιάλυτα, 272
  - » σύμπλοκα εσωτερικά, 215
- Άλατος αποτέλεσμα, 178
  - » διάλυση, 194
  - » διάσταση, 119, 121, 133, 136
- Αλάτων ανθρακικών καταβύθιση, 192
  - » θειούχων καταβύθιση, 188
  - » υδρόλυση, 129, 130, 134, 138
- Αλκαλικά ρυθμιστικά διαλύματα, 142
- Αλκαλικής φλόγας ανιχνευτής, 673
- Αλκαλικό διάλυμα, 127, 129
- Αλκαλικότητα διαλύματος, 127
- Αλκαλιμετρία, 337
- Αλκοτέστ, 420
- Αλογονοσύμπλοκα, 218
- Αμερικανική Εταιρεία Ελέγχου Υλικών, 3
  - » Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας, 3
- Άμεση δειγματοληψία στερεών, 462
  - » βρωμιομετρία, 357
  - » θερμική εκχύλιση, 664
  - » ιωδιομετρία, 357
  - » τιτλομέτρηση, 328
- Άμεσο σύστημα Zeeman, 481
- Αμίνες ή μεταλλοαμμωνιακά σύμπλοκα, 219
- Αμπερομετρικός ανιχνευτής, 619
- Αμμωνιακά άλατα, 185
- Αμφίδρομες αντιδράσεις, 15
- Αμφιπρωτικές ενώσεις, 107
- Αμφιπρωτικοί διαλύτες, 108
- Αμφιπρωτικός χαρακτήρας ύδατος, 108
- Αμφιπρωτικών διαλυτών αυτοδιάσταση, 108
  - » » αυτοπρωτόλυση, 108
- Αμφολύτες, 107
- Αναγωγή, 17

- Αναγωγής ημιαντίδραση, 24  
 Αναγωγικό μέσο, 25, 31  
 Ανάδρασης σύστημα, 533  
 Ανάκτηση, 275  
   » εκατοστιαία, 276  
 Αναλογία στοιχειομετρική, 13  
 Αναλύσεων συμβατικών αναλύτης, 537  
 Ανάλυση, 2  
   » τιτλομετρική, 327  
   » υψηλή, 407  
   » χημική, 1, 2  
   »   » ποιοτική, 4, 417  
   »   »   » ανόργανη, 4, 417, 507  
   »   »   » οργανική, 4, 412, 507  
   »   » ποσοτική, 4, 418, 622  
   »   »   » ανόργανη, 4, 418, 507  
   »   »   » οργανική, 4  
 Ανάλυσης συνολικός χρόνος, 269  
   » χημικές κλασικές τεχνικές, 14  
 Αναλυτές αυτόματοι, 536  
   » ημιαυτόματοι, 537  
 Αναλύτη μετατόπιση, 481  
   » παρεμπόδιση, 503, 504  
 Αναλύτης, 2  
 Αναλυτής αεριοδιαχωριζόμενης ροής, 539  
   » αυτόματος, 536  
   » διάκριτων αναλύσεων, 537  
   » έγχυσης δείγματος σε συνεχή ροή, 539  
   » ημιαυτόματος, 532  
   » μαγνητικού τομέα, 687  
   »   »   » απλής εστίασης, 687  
 Αναλυτής μαγνητικού τομέα, διπλής εστίασης, 687  
 Αναλυτής μαζών, 623, 629  
   »   » κυκλοτρονικού συντονισμού  
   »   » ιόντων μετασχηματισμού  
   Fourier, 629  
 Αναλυτής μαζών παγίδας ιόντων, 629, 630, 637  
   »   » τετραπολικός, 629  
   »   » χρόνου πτήσης, 629, 631  
   » πλήρους συνεχούς ροής, 540  
   » ροής, 537, 539  
   » ρομποτικός, 537, 540  
   » συμβατικών αναλύσεων, 537  
 Αναλυτής συνεχούς ροής με διακοπτόμενα τμήματα, 539  
 Αναλυτής συνεχούς ροής χωρίς διακοπτόμενα τμήματα, 539  
 Αναλυτικές εφαρμογές αυτοματισμού, 535  
   »   » συντονισμού, 535  
   »   » μέθοδοι προσδιορισμού, 586  
 Αναλυτική ισοδυναμία, 279  
   » καμπύλη, 245  
   »   » βαθμονόμησης, 245  
   » στήλη, 608, 613  
   » συγκέντρωση, 48  
   » Χημεία, 1, 8  
   » Χρωματογραφία, 599  
 Αναλυτικής καμπύλης βαθμονόμησης τεχνική, 488  
 Αναλυτικής μεθόδου ευαισθησία, 282  
   »   » επικύρωση, 270  
   »   » παράμετροι επικύρωσης, 270  
 Αναλυτικής Χημείας Αρχές, 8  
   »   » Βασικές Αρχές, 8  
   »   » γλώσσα, 2  
   »   » καθαριότητα εργαστηρίου, 316  
 Αναλυτικής Χημείας κεντρική θέση, 6  
   »   » λειτουργικότητα εργαστηρίου, 316  
 Αναλυτικών τεχνικών ταξινόμησης, 5  
 Αναλυτικώς καθαρά αντιδραστήρια, 315  
 Ανάδειξη διαλυτών στη βαθμωτή έκλυση, 611  
 Αναπαραγωγικότητα, 276, 279  
 Αναστολέας καταλυτικής αντίδρασης, 65  
 Αναστολή   »   », 65  
 Ανάσχεσης ακτινοβολία, 497  
 Αναφοράς πιστοποιημένο υλικό, 275  
   » πρότυπο υλικό, 275  
   » υπερκαθαρά αντιδραστήρια, 314  
 Ανθεκτικότητα, 278  
 Ανθρακικών αλάτων καταβύθιση, 192  
 Ανιόντα, 101  
   » ομοιοατομικά σύμπλοκα, 220  
 Ανιοντικά σύμπλοκα ιόντα, 219  
 Ανίχνευσης όριο, 280, 616  
 Ανίχνευτή απόκριση, 615  
   » δυναμική περιοχή, 606