

# ΧΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗ ΑΘ. ΚΟΥΪΜΤΖΗ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗ Α.Π.Θ.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι γνωστό ότι η βιομηχανική ανάπτυξη δημιούργησε τις προϋποθέσεις για μια βαθιά αλλαγή στις συνθήκες διαβίωσης των ανθρώπων. Σκοποί και επιδιώξεις, όπως η αύξηση των γνώσεων, η υπερνίκηση των δυσχερειών που εμποδίζουν την ανάπτυξη δημιουργικών δυνάμεων και κυρίως ο περιορισμός της εξάρτησης του ανθρώπου από τη φύση, επιτεύχθηκαν με την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης και άρχισαν να ολοκληρώνονται με την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Η επιτυχία όμως της βιομηχανικής ανάπτυξης άρχισε σιγά-σιγά να συνοδεύεται και από πολλά φαινόμενα τα οποία δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα με αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και γενικά στους ζώντες οργανισμούς.

Η αντιμετώπιση και η επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων συνετέλεσε στην ανάπτυξη νέων επιστημονικών κλάδων ανάμεσα στους οποίους ιδιαίτερη θέση κατέχει η **Χημεία Περιβάλλοντος**.

Ο κλάδος αυτός της Χημείας έχει αναπτυχθεί σημαντικά και σήμερα χωρίζεται σε διάφορους μικρότερους κλάδους, μερικοί από τους οποίους συνδέονται άμεσα και με άλλους επιστημονικούς κλάδους. Έτσι σήμερα έχουμε εκτός από τη Χημεία Περιβάλλοντος, τον **Έλεγχο της Ρύπανσης του Περιβάλλοντος**, την **Τεχνολογία του Περιβάλλοντος**, τη **Χημεία της Ατμόσφαιρας**, τη **Χημεία των Οικοσυστημάτων** κ. ά.

Το βιβλίο αυτό κύριο σκοπό του έχει να καλύψει τις διδακτικές ανάγκες του Μαθήματος, **ΧΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**. Απευθύνεται κυρίως στους φοιτητές τμημάτων Χημείας, και προσφέρει τις θεμελιώδεις γνώσεις σ' αυτούς που ασχολούνται και με τα επίκαιρα θέματα της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	11
1.1. Περιβάλλον .....	11
1.2. Ρύπανση περιβάλλοντος .....	13
1.2.1 Βιοσυσσώρευση-βιολογική μεγένθυση .....	16
1.2.2 Πληθυσμιακή έκρηξη .....	19
1.3 Προστασία περιβάλλοντος - Χημεία περιβάλλοντος .....	20
<b>2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ</b> .....	24
2.1. Χημική σύσταση της ατμόσφαιρας .....	24
2.2. Δομή της ατμόσφαιρας .....	26
2.3. Χημικές - φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα .....	29
2.4. Στρατοσφαιρικό όζον .....	31
<b>3. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ</b> .....	34
3.1. Εισαγωγή .....	34
3.2. Παράμετροι ρύπανσης της ατμόσφαιρας .....	36
3.2.1. Πρότυπα ποιότητας του αέρα .....	36
3.3. Οξειδία του αζώτου .....	40
3.4. Οξειδία του θείου .....	44
3.5. Μονοξειδίο του άνθρακα .....	49
3.6. Υδρογονάνθρακες .....	51
3.7. Αιωρούμενα σωματίδια .....	52
3.7.1. Προσδιορισμός σωματιδίων στην ατμόσφαιρα .....	55
3.7.2. Περιορισμός της ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια .....	56
3.8. Καυσαέρια αυτοκινήτων .....	58
3.9. Ενοχλητικές οσμές .....	59
<b>4. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ</b> .....	61
4.1. Εισαγωγή .....	61
4.2. Θερμοκρασιακές αναστροφές .....	62
4.3. Αστική θερμονησίδα - Συστήματα αύρας .....	63
4.4. Διασπορά ρύπων από καμινάδες .....	64
4.4.1. Μοντέλα διασποράς αερολυμάτων .....	67
<b>5. ΚΑΠΝΟΜΙΧΛΕΣ</b> .....	69
5.1. Εισαγωγή .....	69
5.2. Απλές καπνομίχλες .....	69
5.3. Φωτοχημικές καπνομίχλες .....	71

<b>6. ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ</b> .....	76
6.1. Εισαγωγή .....	76
6.2. Όξινη βροχή στην Ελλάδα .....	77
6.3. Επιπτώσεις της όξινης βροχής στο περιβάλλον .....	79
<b>7. ΥΔΡΟΣΦΑΙΡΑ</b> .....	83
7.1. Εισαγωγή .....	83
7.2. Θάλασσες - Ωκεανοί .....	86
7.3. Λίμνες .....	89
7.4. Πόσιμο νερό .....	91
<b>8. ΧΗΜΕΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ</b> .....	94
8.1. Εισαγωγή .....	94
8.2. Συστατικά των φυσικών νερών .....	94
8.3. Διεργασίες στα φυσικά νερά .....	98
<b>9. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ</b> .....	103
9.1. Εισαγωγή .....	103
9.2. Παράμετροι οργανικής ρύπανσης .....	105
9.3. Ευτροφισμός - Άνθηση του νερού .....	108
9.4. Μικροβιακή μόλυνση νερών .....	113
9.5. Αιωρούμενα στερεά .....	114
9.6. Θερμική αλλοίωση των νερών .....	115
<b>10. ΕΔΑΦΟΣ</b> .....	116
10.1. Εισαγωγή .....	116
10.2. Στερεός φλοιός της Γης .....	117
10.3. Χαρακτηριστικά του εδάφους .....	120
10.4. Οργανική ύλη εδάφους .....	124
<b>11. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ-ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	126
11.1. Εισαγωγή .....	126
11.2. Μηχανισμοί της τοξικής δράσης των βαρέων μετάλλων .....	128
11.3. Υδράργυρος .....	129
11.4. Μόλυβδος .....	132
11.5. Κάδμιο .....	133
11.6. Αρσενικό .....	135
11.7. Σελήνιο .....	137
<b>12. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ</b> .....	138
12.1. Εισαγωγή .....	138
12.2. Χλωριωμένοι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες .....	139
12.3. Φαινόλες-Χρωροφαινόλες .....	141
12.4. Χρωριωμένες αρωματικές ενώσεις .....	143
12.5. Πολυχλωριωμένες δεβενζο-π-διοξίνες και διβενζοφουράνια .....	145
12.6. Παρασιτοκτόνα .....	146
12.6.1. Οργανοχλωριωμένες ενώσεις .....	148
12.6.2. Άλλες κατηγορίες παρασιτοκτόνων .....	150

12.7. Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες .....	151
12.7.1. Οι PAH στην ατμόσφαιρα .....	152
12.7.2. Οι PAH στα νερά το-έδαφος και τους ζώντες οργανισμούς .....	154
12.7.3. Καρκινογόνος δράση - Τοξικότητα των PAH .....	158
12.8. Χρώματα βαφής .....	160
12.9. Υδρογονάνθρακες πετρελαίου .....	162
12.9.1. Επιπτώσεις του πετρελαίου στο περιβάλλον .....	165
12.9.2. Καταπολέμηση πετρελαιοκηλίδων .....	167
12.10. Απορρυπαντικά .....	169
12.11. Μελέτη περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των οργανικών ενώσεων ...	173
<b>13. ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ - ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ .....</b>	<b>176</b>
13.1. Εισαγωγή .....	176
13.2. Στάδιο προκατεργασίας .....	178
13.3. Πρωτοβάθμια κατεργασία .....	179
13.4. Δευτεροβάθμια κατεργασία .....	180
13.5. Τριτοβάθμια κατεργασία .....	182
13.6. Απολύμανση λυμάτων - αποβλήτων .....	183
<b>14. ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ .....</b>	<b>185</b>
14.1. Εισαγωγή .....	185
14.2. Περιβαλλοντικά προβλήματα από τα απορρίμματα και τα απόβλητα ..	186
14.3. Διάθεση αστικών απορριμμάτων .....	191
14.3.1. Ελεγχόμενη εναπόθεση των απορριμμάτων .....	191
14.3.2. Λιπασματοποίηση .....	193
14.3.3. Καύση των απορριμμάτων .....	193
14.4. Διάθεση στερεών βιομηχανικών αποβλήτων .....	196
14.4.1. Προκαταρκτικοί έλεγχοι των στερεών αποβλήτων .....	196
14.4.2. Κατεργασία των στερεών αποβλήτων .....	197
14.4.2. Διάθεση στερεών βιομηχανικών .....	199
<b>15. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ .....</b>	<b>200</b>
15.1. Εισαγωγή .....	200
15.2. Βιολογικές επιπτώσεις της ραδιενέργειας .....	203
15.3. Πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	206
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	207
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	227
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ .....	229

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Είναι γνωστό ότι η έννοια που δημιουργείται από τη λέξη περιβάλλον έχει ποικίλλες διαστάσεις, ανάλογα με τη σκοπιά από την οποία το εξετάζει κανείς. Από τη σκοπιά των θετικών επιστημών «περιβάλλον» θεωρείται το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που αλληλοεπιδρώντας επηρεάζουν την ποιότητα ζωής, τήν ανάπτυξη της κοινωνίας και γενικότερα την οικολογική ισορροπία.

Το περιβάλλον αποτελούν το έδαφος, το υπέδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά νερά, η θάλασσα, ο αέρας, η χλωρίδα, η πανίδα, οι φυσικοί πόροι και τα στοιχεία πολιτισμού έτσι όπως διαμορφώθηκαν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα παραπάνω στοιχεία, με την πάροδο των αιώνων, έχουν έρθει σε μια πολύπλοκη κατάσταση αλληλοεπιδράσεων και ισορροπιών και έχουν διαφοροποιηθεί σε πολλά μικρά και μεγάλα οικοσυστήματα.

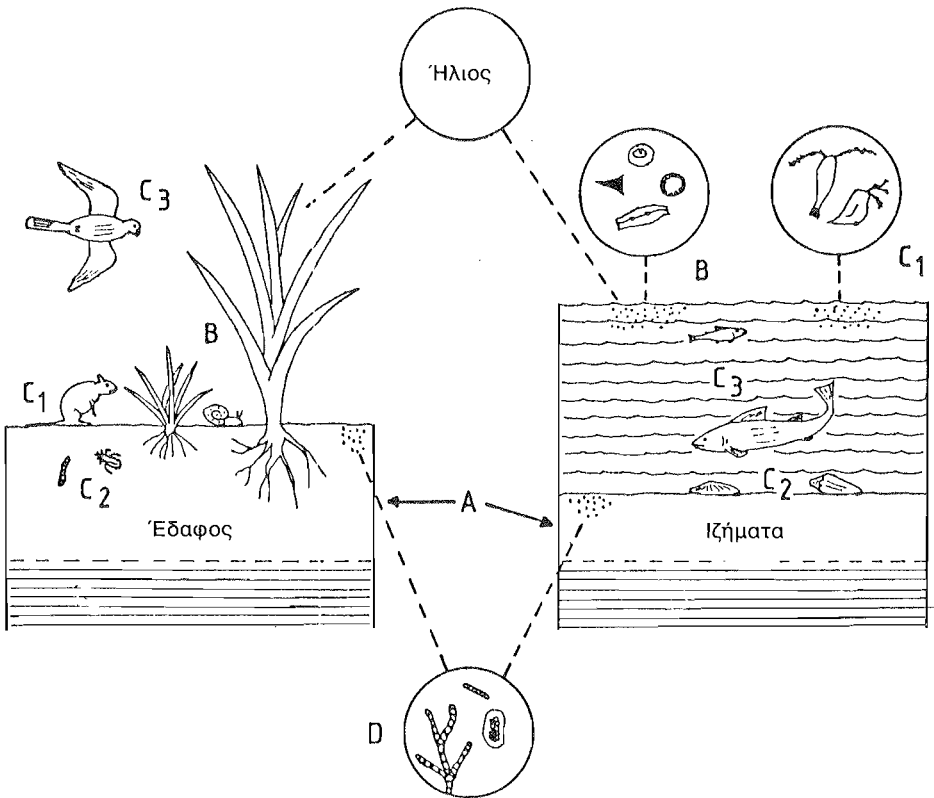
Ο άνθρωπος από την ύπαρξή του πάνω στη γή επιδρά στο περιβάλλον με διάφορες δραστηριότητες, οι οποίες, όταν ξεπεράσουν ορισμένα όρια, διαταράσσουν τις ισορροπίες που διέπουν τα διάφορα οικοσυστήματα.

**Οικοσύστημα** ορίζεται ένας καθορισμένος χώρος που περιλαμβάνει το σύνολο της μη ζωντανής ύλης, των ζώντων οργανισμών και των φυσικών παραγόντων (άνεμοι, ακτινοβολία, βροχή κ.ά.) που δρουν στο χώρο αυτό και θρίσκονται σε αλληλοεπίδραση μεταξύ τους. Έτσι, π.χ. ένα δάσος, ένας θάλτος ή μια λίμνη θεωρούνται στο σύνολό τους οικοσυστήματα, αλλά και η γή είναι ένα μεγάλο οικοσύστημα.

**Οικολογική ισορροπία** είναι η σταθερή σχέση που έχει διαμορφωθεί μέσα από τους αιώνες, ανάμεσα σε διάφορα σύνολα φυτών, μικροοργανισμών και ζώων, καθώς και ανάμεσα στις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον. Με την πάροδο του χρόνου τα οικοσυστήματα είναι δυνατό να αλλάζουν· εξελισσόμενα ή υποθαμιζόμενα. Οι αλλαγές αυτές καθορίζονται κυρίως από παράγοντες που

επηρεάζουν τις σχέσεις των ζώντων οργανισμών με το αβιοτικό περιβάλλον.

Η ενέργεια που χρειάζεται ένα οικοσύστημα μεταφέρεται σ' αυτό μέσα από διαδικασίες στις οποίες συμμετέχουν οργανισμοί διαφορετικού βαθμού και ανάπτυξης. Αυτό συνεπάγεται τη διαμόρφωση **τροφικών αλυσίδων** (food chains), που είναι το αποτέλεσμα της επαναλαμβανόμενης αρχής «τρως και τρώγεσαι» (eating and being eaten). Υπάρχουν δύο κυρίως τύποι τροφικών αλυσίδων: η ετερότροφος και η σαπρότροφος. Στο σχήμα 1.1 απεικονίζεται γραφικά η δομή ενός γήινου και ενός υδάτινου οικοσυστήματος. Σ' αυτό φαίνεται καθαρά η αλληλοεξάρτηση των διαφόρων οργανισμών τόσο μεταξύ τους όσο και από το αβιοτικό περιβάλλον.



**Σχήμα 1.1.** Δομή ενός γήινου και ενός υδάτινου οικοσυστήματος.

A = αβιοτικές ουσίες. B = παραγωγός, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> τρεις κατηγορίες καταναλωτών.

D = βακτηρίδια και μύκητες.

Κάθε οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από την ποικιλία των ειδών των ζώντων οργανισμών και από τον αντίστοιχο πληθυσμό τους. Τα μεγέθη αυτά υπόκεινται συχνά σε αργές ή γρήγορες αλλαγές κάθε φορά που διάφοροι παράγοντες διαταράσσουν τις ποικίλες ισορροπίες μέσα στο οικοσύστημα.

Η πληθυσμιακή αύξηση ενός είδους και οι πιθανότητες επιβίωσης του καθορίζονται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων. Ανάμεσα σ' αυτούς ιδιαίτερη σημασία έχουν οι λεγόμενοι **περιοριστικοί παράγοντες** (limiting factors), που εκφράζονται από τον γνωστό «**Νόμο του ελαχίστου**» (Liebig 1840). Σύμφωνα με το νόμο αυτό, εφόσον για την ανάπτυξη ενός οργανισμού είναι απαραίτητα ορισμένα στοιχεία, η ταχύτητα ανάπτυξής του καθορίζεται από εκείνο το στοιχείο που βρίσκεται στη μικρότερη ποσότητα. Δηλαδή, αν για την ανάπτυξη ενός φυτού απαραίτητα στοιχεία είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο, το άζωτο και ο φωσφόρος και σε μικρότερη ποσότητα βρίσκεται ο φωσφόρος, τότε το φυτό αυτό θα αναπτυχθεί τόσο, όσο του επιτρέπει η ποσότητα του φωσφόρου και άσχετα με τις ποσότητες των άλλων στοιχείων που υπάρχουν. Αργότερα διατυπώθηκαν και άλλοι νόμοι σχετικοί με την σημασία των περιοριστικών παραγόντων.

Η σημασία των χημικών στοιχείων και ενώσεων στη διαμόρφωση των οικοσυστημάτων είναι μεγάλη, όπως διαπιστώνεται και από την εφαρμογή του νόμου του ελαχίστου. Οι ουσίες αυτές «κυκλοφορούν» και ανακυκλώνονται στη βιόσφαιρα μέσα από τους λεγόμενους **βιογαιοχημικούς κύκλους**. Η κυκλοφορία αυτή από το περιβάλλον στους οργανισμούς και τανάπαλιν μπορεί να είναι τοπική, μέσα σ' ένα οικοσύστημα, ή παγκόσμια. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων κύκλων θα εξετασθούν σε επόμενα κεφάλαια.

## 1.2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ισορροπία που έχει αποκατασταθεί στους βιογαιοχημικούς κύκλους και στα οικοσυστήματα είναι δυνατό να διαταραχθεί από την εισαγωγή ανεπιθύμητων στοιχείων (διάφορες μορφές ενέργειας ή διάφορες ουσίες). Η ανεξέλεγκτη εισαγωγή τέτοιων στοιχείων σ' ένα οικοσύστημα συνήθως μειώνει τις ικανότητες του να αντιδρά ή να κινεί τους μηχανισμούς ανακύκλωσης, αναπαραγωγής και αυτοκαθαρισμού. Η ένταση που προκαλείται στο οικοσύστημα



μπορεί να φθάσει και στην καταστροφή της αρμονίας ανάμεσα στη ζωή και το περιβάλλον.

Οι βλαπτικές για το περιβάλλον ενέργειες εκφράζονται με όρους όπως: καταστροφή, μόλυνση, ρύπανση, θλάθη, υποβάθμιση κ.ά. Ο ελληνικός νόμος για την προστασία του περιβάλλοντος Ν 1650/1986, περιέχει τρεις ρητούς ορισμούς εννοιών που συνθέτουν τη γενικότερη έννοια της προσβολής του περιβάλλοντος.

**α. Ρύπανση του περιβάλλοντος:** η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

**β. Μόλυνση περιβάλλοντος:** η μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.

**γ. Υποβάθμιση Περιβάλλοντος:** η πρόκληση από ανθρώπινες δραστηριότητες ρύπανσης η οποιασδήποτε άλλης μεταβολής στο περιβάλλον, η οποία είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, στην ποιότητα ζωής και στην υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες.

Ανάλογα με τη φύση των στοιχείων που εκπέμπονται και προσβάλλουν το περιβάλλον διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες ρύπανσης: **χημική, θερμική, βιολογική, ηχητική** και τέλος **αισθητική**.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες (ηφαίστεια, πυρκαγιές, βιολογικές δραστηριότητες κ.ά.) όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανία, αυτοκίνητο, παραγωγή ενέργειας, θέρμανση κ.ά.).

Σε ό,τι αφορά τις φυσικές πηγές, η ίδια η φύση έχει αναπτύξει, δια μέσου των αιώνων, διάφορους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού που εξισορροπούν τη ρύπανση που προκαλείται απ' αυτές. Αντίθετα, η ρύπανση που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι επικίνδυνη, επειδή συγκεντρώνεται συνήθως σε περιορισμένους χώρους (βιομηχανικά και αστικά κέντρα), όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων προκαλούν μη αντιστρεπτές κατάστάσεις.

Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες κατηγορίες των ανθρω-

πογενών πηγών χημικής ρύπανσης του περιβάλλοντος.

**1. Βιομηχανίες.** Συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα βιομηχανικά απόβλητα (αέρια, στερεά και υγρά) δημιουργούν σε πολλές περιπτώσεις σοβαρά προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων, καθώς και καταστροφές σε μικρά ή μεγάλα οικοσυστήματα.

**2. Αστικές δραστηριότητες.** Τα αστικά λύματα και τα στερεά απορρίμματα δημιουργούν σοβαρά προβλήματα ρύπανσης στο περιβάλλον.

**3. Συγκοινωνία - Κεντρική θέρμανση.** Οι πηγές αυτές προκαλούν κυρίως ρύπανση της ατμόσφαιρας και επειδή είναι συγκεντρωμένες σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, έχουν άμεση επίπτωση στην υγεία των κατοίκων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1**

**Κατηγορίες και διαστάσεις της ρύπανσης του περιβάλλοντος**

Διαστάσεις ρύπανσης	Εκδήλωση φαινομένων	Επιπτώσεις
Παγκόσμιες	Καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος Φαινόμενο θερμοκηπίου Ρύπανση Ωκεανών	Αύξηση μέσης θερμοκρασίας της Γης. Αύξηση επικινδύνων ακτινοβολιών. Αλλοίωση μεγάλων οικοσυστημάτων
Διακρατικές	Όξινη βροχή Ρύπανση θαλασσών, ποταμών και λιμνών	Καταστροφή δασών και λιμνών. Αλλοίωση οικοσυστημάτων
Περιφερειακές Τοπικές	Καπνομίχλες Φυτοχημικά νέφη Ρύπανση επιφανειακών και υπογείων νερών	Κίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων Προσβολή υδροβιοτόπων
Εργασιακός χώρος	Εκπομπή τοξικών ουσιών	Επαγγελματικές ασθένειες
Χώρος Κατοικίας	Εκπομπή τοξικών ουσιών από βιομηχανικά προϊόντα	Μακροχρόνιες επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων

**4. Γεωργικές δραστηριότητες.** Λιπάσματα, βελτιωτικά εδάφους, παρασιτοκτόνα, εντομοκτόνα κ. ά., προκαλούν έντονα προβλήματα ρύπανσης κυρίως στους υδάτινους αποδέκτες.

**5. Τυχαία περιστατικά.** Ατυχήματα που συμβαίνουν σε χημικές βιομηχανίες, πυρηνικά εργοστάσια, δεξαμενόπλοια, κ.ά. δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα με συχνά απρόβλεπτες συνέπειες.

Οι βλαπτικές συνέπειες από τη ρύπανση του περιβάλλοντος παίρνουν διάφορες διαστάσεις ανάλογα με το είδος, την ποσότητα και τη διάρκεια παραμονής των ρύπων στο περιβάλλον. Έτσι, πχ. οι συνέπειες από την εκπομπή ρύπων, που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον, έχουν παγκόσμιες διαστάσεις (βλέπε κεφ. 2.5). Στον Πίνακα 1.1 γίνεται μια προσπάθεια κατηγοροποίησης των διαστάσεων των διαφόρων μορφών ρύπανσης του περιβάλλοντος. Παράλληλα αναφέρονται και τα κυριότερα φαινόμενα που σχετίζονται με τη ρύπανση καθώς επίσης και οι αντίστοιχες επιπτώσεις τους.

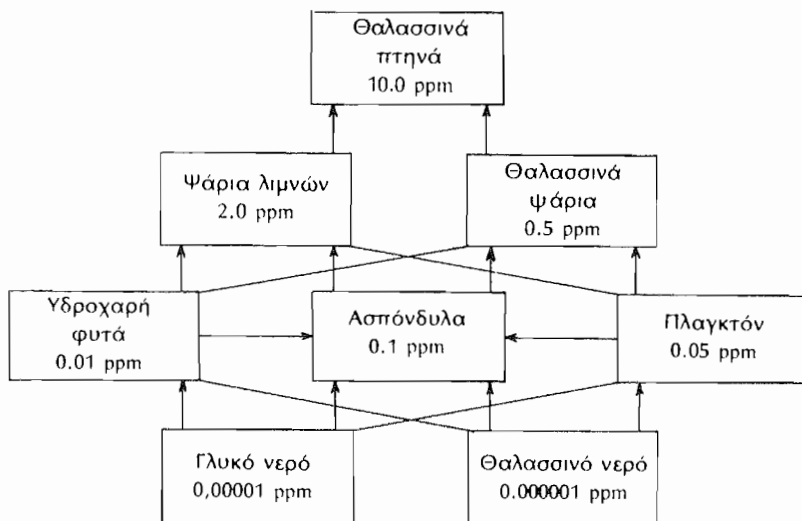
### **1.2.1. Βιοσυσσώρευση - Βιολογική μεγέθυνση**

Η εκπομπή ρύπων στο περιβάλλον δημιουργεί πολλά προβλήματα στους ζώντες οργανισμούς. Αυτό συμβαίνει επειδή πολλοί από τους ρύπους έχουν τοξικές ιδιότητες ή προκαλούν σε μακροχρόνια βάση, προβλήματα στις διάφορες βιολογικές διαδικασίες που είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ζωής.

Οι κίνδυνοι από την παρουσία των τοξικών και άλλων επιβλαβών ουσιών στο περιβάλλον μεγαλώνουν, επειδή οι οργανισμοί έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύουν τις ουσίες αυτές σε διάφορα όργανα του σώματός τους. Αυτό συμβαίνει σ' όλες τις βαθμίδες της τροφικής αλυσίδας. Δηλαδή, ένας αρχικός «καταναλωτής» τρώγοντας το φυτό θα αποβάλλει ορισμένες ουσίες και θα ενσωματώσει άλλες στους ιστούς του. Ένας επόμενος καταναλωτής τρώγοντας τον αρχικό καταναλωτή θα διαλέξει πάλι ορισμένα συστατικά τα οποία και θα ενσωματώσει. Αν ανάμεσα στις ουσίες που ενσωματώνονται συνυπάρχουν και τοξικές, αυτές κάποτε θα φθάσουν σε τέτοια συγκέντρωση που θα είναι επικίνδυνες για τον οργανισμό στον οποίο συσσωρεύονται. Από την άλλη μεριά καθώς ανεβαίνουμε την τροφική αλυσίδα, η συγκέντρωση των τοξικών ουσιών όλο και μεγαλώνει. Το φαινόμενο αυτό, να συσσωρεύονται δηλαδή οι χημικές ουσίες στα διάφορα μέλη της τροφικής αλυσί-

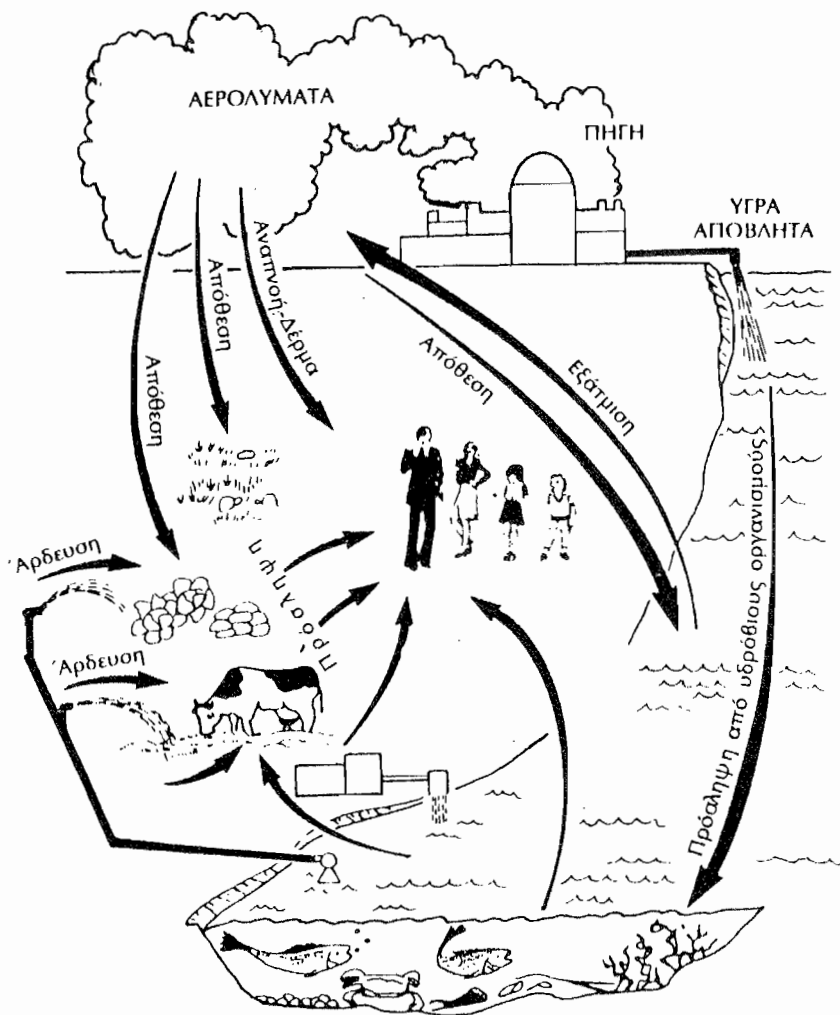
δας σε συνεχώς αυξανόμενες συγκεντρώσεις, ονομάζονται **βιολογική μεγέθυνση** (bioamplification). Για το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιείται και ο όρος **βιοσυσσώρευση** (bioaccumulation).

Ο λόγος της συγκέντρωσης της ουσίας στον «καταναλωτή» προς την συγκέντρωση της ουσίας στην τροφή (νερό, στερεά ή υγρή τροφή, ή άλλος φυτικός ή ζωικός οργανισμός) ονομάζεται **συντελεστής βιοσυσσώρευσης**. Οι τιμές του συντελεστή βιοσυσσώρευσης από βαθμίδα σε βαθμίδα της τροφικής αλυσίδας κυμαίνονται κατά κανόνα στην περιοχή 0-20. Αντίθετα, όταν η συσσώρευση γίνεται απ' ευθείας από το νερό, ο συντελεστής βιοσυσσώρευσης φθάνει μέχρι και 100.000. Στο Σχήμα 1.2 απεικονίζεται παραστατικά η βιοσυσσώρευση του DDT από το νερό σε διάφορους οργανισμούς μέσω της τροφικής αλυσίδας.



**Σχήμα 1.2.** Σχηματική απεικόνιση της βιοσυσσώρευσης του DDT από το νερό σε διάφορους οργανισμούς.

Η συσσώρευση των χημικών ουσιών στους ιστούς των διαφόρων οργανισμών οφείλεται κατά κανόνα στη λιποδιαλυτότητα τους. Όσο δηλαδή πιο λιποδιαλυτή είναι μια ουσία, τόσο ο συντελεστής βιοσυσσώρευσης είναι πιο μεγάλος. Ένας άλλος λόγος είναι οι παραπλήσιες χημικές ή φυσικές ιδιότητες. Π.χ. το στρόντιο συσσωρεύεται στα οστά, επειδή έχει παραπλήσιες χημικές ιδιότητες με το ασβέστιο.



**Σχήμα 1.3.** Πιθανοί τρόποι έκθεσης των ανθρώπων σε τοξικές και επιβλαβείς χημικές ουσίες.

Σε ό,τι αφορά τον άνθρωπο, η πρόσληψη τοξικών ουσιών γίνεται τόσο με την αναπνοή, όσο και με τη διατροφή. Η συσσώρευση κάποιας τοξικής ουσίας στον ανθρώπινο οργανισμό γίνεται επικίνδυνη όταν ξεπεράσει κάποιο όριο πέρα από το οποίο μπορεί να προκληθεί θάνατος. Στο σχήμα 1.3. φαίνονται οι πιθανοί τρόποι έκθεσης των ανθρώπων σε διάφορες τοξικές και επιβλαβείς χημικές ουσίες.

Η τοξικότητα μιας ουσίας εκφράζεται σε τιμές **θανατηφόρας δόσης των 50%** (Lethal Dose values  $LD_{50}$ ). Ο όρος αυτός παριστάνει την ποσότητα της ουσίας, η οποία προκαλεί το θάνατο του 50% ενός πληθυσμού πειραματόζωων, αν χορηγηθεί σε μια δόση. Η τιμή  $LD_{50}$  δίνεται συνήθως σε ppm ή σε mg ουσίας ανά kg βάρους του πειραματόζωου. Όσο η τιμή  $LD_{50}$  είναι μικρότερη, τόσο πιο τοξική είναι η ουσία αυτή.

Παράλληλα με τις τιμές  $LD_{50}$  χρησιμοποιείται και ο όρος **ανώτατη μη δραστική συγκέντρωση**. Είναι η συγκέντρωση εκείνη, με την οποία δεν εμφανίζεται καμιά βλάβη στο πειραματόζωο.

Με βάση την ανώτατη μη δραστική συγκέντρωση υπολογίζεται η ανώτατη επιτρεπτή ημερήσια δόση, σε mg/kg βάρους σώματος του πειραματόζωου. Κατόπιν υπολογίζεται η **ανώτατη επιτρεπτή ημερήσια πρόσληψη** (acceptable daily intake) για τον άνθρωπο. Για τον υπολογισμό αυτό θεωρείται ότι ο άνθρωπος είναι 10 φορές πιο ευαίσθητος από το πειραματόζωο και επί πλέον χρησιμοποιείται κι ένα 10πλάσιος συντελεστής ασφάλειας.

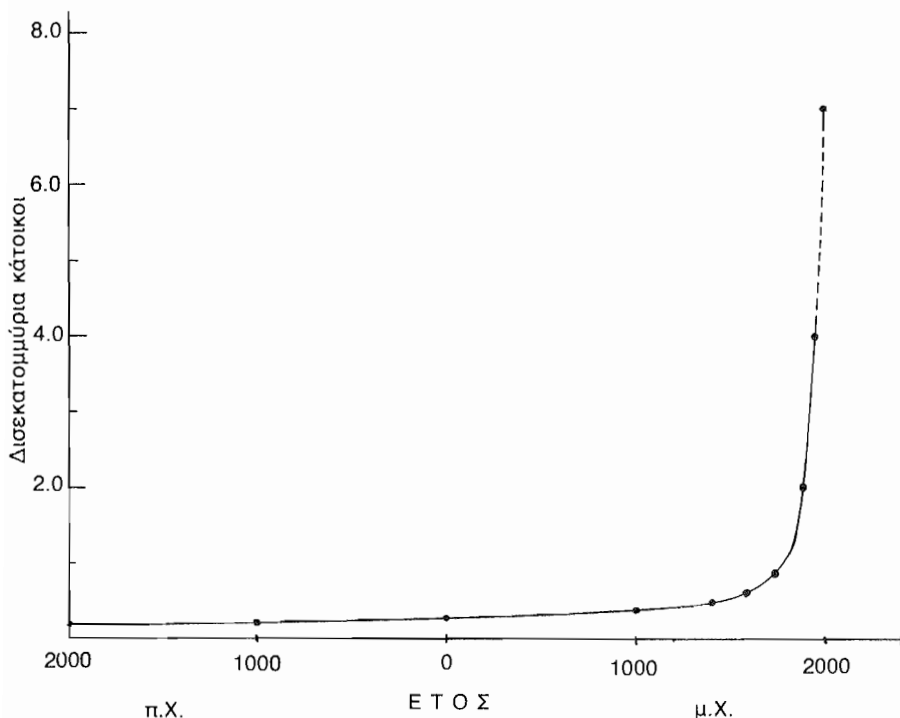
Με βάση το μέσο βάρος του ανθρώπου, την ημερήσια κατανάλωση και την ανώτατη επιτρεπτή ημερήσια πρόσληψη υπολογίζεται η ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση των τοξικών ουσιών στα τρόφιμα σε mg/kg.

### 1.2.2. Πληθυσμιακή έκρηξη

Τα προβλήματα της ρύπανσης του περιβάλλοντος επιδεινώνονται και από το γεγονός ότι ο πληθυσμός συνεχώς αυξάνει, ενώ η γή είναι πεπερασμένων και ορισμένων διαστάσεων. Η **πληθυσμιακή έκρηξη**, –όπως χαρακτηρίζεται η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού κυρίως στους λαούς που εισέρχονται στο στάδιο της σύγχρονης ανάπτυξης–, δημιουργεί μεγάλες ανησυχίες.

Υπολογίζεται ότι το 2000 μ.Χ. ο πληθυσμός θα φθάσει τα 7.000.000.000 κατοίκους (σχήμα 1.4). Αν συνεχιστεί η αύξηση του πληθυσμού με την ίδια ταχύτητα, θα δημιουργηθεί αδιέξοδο. Ο άνθρωπος για να αναπτυχθεί χρειάζεται αγαθά. Επειδή οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις είναι περιορισμένες η εξασφάλιση αγαθών μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μεθόδων που θα έχουν σαν αποτέλεσμα: α) την γρήγορη κατανάλωση των φυσικών πόρων και β) την ταχεία αύξηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Αυτό θα οδηγήσει πιθανόν σε μείωση του πληθυσμού, είτε λόγω ασθενειών είτε λόγω δημογραφικών προβλημάτων. Ένα τέτοιο μοντέλο, όπου σκιαγρα-

φείται το μέλλον, υπάρχει στην έκθεση της Διεθνούς Λέσχης της Ρώμης.



Σχήμα 1.4. Η εξέλιξη του πληθυσμού της Γης.

### 1.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – ΧΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η αντίληψη για το μέγεθος της ρύπανσης και η εμφάνιση των αρνητικών επιπτώσεων στους ζώντες οργανισμούς και ιδιαίτερα στην υγεία των ανθρώπων προκάλεσε και προκαλεί συνεχώς διάφορες κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Πολλές απ' αυτές φέρνουν θετικά αποτελέσματα, άλλες όμως κινητοποιήσεις φθάνουν μέχρι το σημείο να τοποθετούνται εντελώς αρνητικά στην εξέλιξη και στην αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής.

Ο ισχυρισμός όμως, σύμφωνα με τον οποίο η καταστροφή του περιβάλλοντος είναι αναπόφευκτο τμήμα της βιομηχανικής ανάπτυξης είναι αστήρικτος. Η ανθρώπινη επινοητικότητα έχει την ικανότητα να ξεπερνά τα αρνητικά αποτελέσματα, που συχνά συνοδεύουν την πρόοδο.

Πράγματι, η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογία άρχισαν να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον και το σπουδαιότερο, άρχισαν να διαμορφώνουν νέες αντιλήψεις και κανόνες που σηματοδοτούν την παραπέρα πορεία προς την πρόοδο και την εξέλιξη. Η οικονομική και Βιομηχανική ανάπτυξη και η προστασία του Περιβάλλοντος πρέπει να υπηρετούν τις ανάγκες της ανθρωπότητας συνολικά. Η Παγκόσμια Οικονομία αρχίζει να συνυπάρχει με την Παγκόσμια Οικολογία. Αυτό διαπιστώνεται και από τις νέες νομοθεσίες που εισάγονται στα διάφορα κράτη και που αναφέρονται στην προστασία του περιβάλλοντος.

Στο Ελληνικό Σύνταγμα του 1975 (άρθρο 24) αναφέρεται ότι: «η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του κράτους». Ως συνέπεια του άρθρου αυτού, ψηφίσθηκαν από την ελληνική Βουλή διάφοροι νόμοι για την προστασία του περιβάλλοντος», οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι 1180/81 και 1650/86.

Με τον όρο **προστασία του περιβάλλοντος** εννοούμε το σύνολο των μέτρων και των δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην πρόληψη και καταστολή της ρύπανσης, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ποιότητα ζωής και να διατηρείται η ισορροπία στα μικρά και μεγάλα οικοσυστήματα.

Η αρχική τάση περιβαλλοντικής πολιτικής με την υιοθέτηση της αρχής «Ο ρυπαίνων πληρώνει» άρχισε να αντικαθίσταται από την αρχή της πρόληψης της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Επίσης στη θέση της έρευνας των μεμονομένων βιολογικών, γαιολογικών και άλλων φυσικών συστημάτων, τώρα έχουμε την έρευνα των αλληλοεξαρτημένων συστημάτων.

Η παρατήρηση και η αξιολόγηση του Περιβάλλοντος μπορεί να μας οδηγήσει σε δυό διαφορετικές αντιλήψεις.

Σύμφωνα με την πρώτη, την **ανθρωποκεντρική**, το περιβάλλον είναι χρήσιμο για τον άνθρωπο και συνεπώς πρέπει να προστατευθεί. Δηλαδή η αναγκαιότητα προστασίας του περιβάλλοντος βασίζεται στην ωφελιμότητα που έχει απ' αυτό ο άνθρωπος.

Σύμφωνα με τη δεύτερη αντίληψη, την **οικολογική** το περιβάλλον είναι ένα αξιόλογο αγαθό και ανεξάρτητα από τη σημασία που έχει για τον άνθρωπο, θα πρέπει αυτό καθ' εαυτό να προστατευθεί.

Η δεύτερη αντίληψη τείνει να υιοθετηθεί και ίσως να αποτελέσει το κύριο μέσο για την προστασία του περιβάλλοντος. Οπωσδήποτε η αποδοχή σε παγκόσμια βάση της αρχής αυτής προϋποθέτει



και την αποδοχή συναφών αντιλήψεων, όπως π.χ. η αντίληψη, ότι η σημασία της διατήρησης των φυσικών και βιοτικών αγαθών, η ποιικιλία των ειδών, δεν πρέπει να βρίσκεται σε ανταγωνισμό με οφελιμιστικά μέτρα.

Ένα από τα απλά άλλα ουσιαστικά συμπεράσματα της οικολογικής αντίληψης είναι και η εκ των προτέρων πρόβλεψη και αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στην κατεύθυνση αυτή οδηγεί άλλωστε και η καθιέρωση των εκθέσεων περιβαλλοντικών συνεπειών για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων, η δημιουργία ζωνών ανάπτυξης, η χωροθέτηση βιομηχανικών περιοχών και βιομηχανικών πάρκων κ.ά.

Οι διαδικασίες όμως αυτές πρέπει να λειτουργούν σωστά και η ισορροπία ανάμεσα στα περιβαλλοντικά και στα οφελιμιστικά κριτήρια να τείνει προς τα πρώτα. Αλλιώς, η λογική μόνο των αριθμών και των επιτρεπτών ορίων μπορεί να δημιουργεί και τις προϋποθέσεις για μιá νόμιμη ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Η αντιμετώπιση και επίλυση όλων των προβλημάτων, που σχετίζονται με το περιβάλλον και την προστασία, έδωσε την αφορμή για την ανάπτυξη νέων επιστημονικών κλάδων. Ανάμεσα σ' αυτούς ιδιαίτερη θέση κατέχει η **Χημεία Περιβάλλοντος**. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι η χημική ρύπανση είναι εκείνη που δημιουργεί τα περισσότερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Παράλληλα η προστασία του περιβάλλοντος όπως και η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων προϋποθέτουν σε μεγάλο ποσοστό χημικές διεργασίες.

Ο χημικός από επιστημονική σκοπιά είναι ο κατ' έξοχήν αρμόδιος για να ασκήσει τον αναλυτικό έλεγχο της χημικής ρύπανσης του περιβάλλοντος, για να επινοήσει, να προτείνει και να εισάγει μέτρα αντιρύπανσης και για να γνωματεύσει για την αποτελεσματικότητα μέτρων και προδιαγραφών που ήδη εφαρμόζονται.

Ο χημικός επίσης, ανάλογα με το υπόβαθρο των εξειδικευμένων γνώσεών του: θα προβληματισθεί, θα ερευνήσει και θα εξακριβώσει την τύχη των χημικών ενώσεων που για διάφορους λόγους εκπέμπονται στο περιβάλλον και θα προβλέψει επίσης τα πιθανά αποτελέσματα διαφόρων χημικών ή άλλων διεργασιών που περιλαμβάνονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες για την άνοδο του επιπέδου ζωής. Έτσι π.χ. ο χημικός θα σκεφθεί και θα προσπαθήσει να εξακριβώσει ποιέςθα είναι οι πιθανές συνέπειες της χλωρίωσης του ύδατος. Δηλαδή, ποιές οργανοχλωριωμένες ενώσεις σχηματίζονται, σε ποιές συγκεντρώσεις και ποιά θα είναι η μετέπειτα παραμονή τους στο περιβάλλον.

Οπωσδήποτε, Η συνολική αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων προϋποθέτει και τη συμβολή και άλλων επιστημόνων, όπως βιολόγων, ιατρών, υγειονολόγων, γεωχημικών, μηχανικών κλπ.

## 2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

---

### 2.1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Η σύσταση, η δομή και τα φαινόμενα – φυσικά και χημικά – που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τους βιογαιοχημικούς κύκλους και τα οικοσυστήματα. Για το λόγο αυτό η ατμόσφαιρα αποτελεί αντικείμενο πολλών μελετών. Έτσι π.χ. μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τις μεταβολές της θερμοκρασίας και τις διάφορες αντιδράσεις, χημικές και φωτοχημικές, που παρατηρούνται στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Ατμόσφαιρα θεωρούμε το μίγμα των αερίων που περικλείει τη γή με τη μορφή λεπτού στρώματος. Η σύσταση και η πυκνότητα του μείγματος των αερίων μεταβάλλεται με το ύψος από την επιφάνειά της γης. Το ίδιο παρατηρείται και για την θερμοκρασία. Πράγματι η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε διάφορα στρώματα. Ο διαχωρισμός αυτός εξαρτάται από το κριτήριο το οποίο χρησιμοποιούμε. Έτσι π.χ. με βάση την μεταβολή της θερμοκρασίας η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε στρώματα που είναι γνωστά σαν τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα και θερμόσφαιρα.

Η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας είναι σταθερή μέχρι τα 100 km περίπου, καλύπτει δηλαδή την ομοιόσφαιρα (Κεφ. 2.2) Σ' όλο αυτό το στρώμα το μέσο μοριακό βάρος του αέρα είναι σταθερό και ίσο με 28,28. Μεταβάλλεται μόνο από περιοχή σε περιοχή η συγκέντρωση των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακος. Η σύσταση του καθαρού και ξηρού αέρα δίνεται στον Πίνακα 2.1.

Οι συγκεντρώσεις δίνονται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm), δηλαδή τα μέρη του όγκου του συστατικού σε ένα εκατομμύριο όγκων αέρα. Για τις μεγάλες συγκεντρώσεις χρησιμοποιούμε και την % κατ' όγκο περιεκτικότητα. Η συσχέτιση είναι 1% κατ' όγκο ισοδυναμεί με 10.000 ppm. Επίσης, για τη συγκέντρωση των ρύπων στον αέρα χρησιμοποιούμε και μια άλλη μονάδα: μάζα κατ' όγκο, δηλαδή  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ή σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις  $\text{mg}/\text{m}^3$ .