

Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ  
ΕΛΕΝΗΣ Μ.ΧΑΤΖΗΘΕΟΔΟΣΙΟΥ

\*\*\*\*\*

Η ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,  
Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΥΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΟΣΥΛΛΟΓΕΣ ΚΑΙ  
ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ

\*\*\*\*\*

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1994

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΔΑΡΔΑΜΗΤΣΟΣ.

Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ - 499  
Αριθ Εισαγωγής

ΚΩΔΙΚΟΣ  
ΤΕΛΟΣ

## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ, σελ. 4

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Α. ΤΟΞΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑ, σελ. 5

Β. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

1. Βιομηχανικές δραστηριότητες, σελ. 6
2. Γεωργικές ασχολίες, σελ. 7
3. Αστικά λύματα, σελ. 7-8
4. Καύσεις, σελ. 8-9
  - α. Φωτοχημικά νέφη
  - β. Καπνομίχλη

Γ. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΩΝ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

1. Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, σελ. 10-11
2. Πέρασμα των τοξικών ουσιών από την ατμόσφαιρα στο νερό, σελ. 11-15
  - α. Κύκλος του νερού
  - β. Μεταφορά των ρύπων στη βροχή
  - γ. Απόπλυση της γης από το βρόχινο νερό
  - δ. Μεταφορά στη θάλασσα
3. Μεταφορά και συγκέντρωση των τοξικών ουσιών στη βιομάζα, σελ. 15-16
4. Μεταφορά στις τροφικές αλυσίδες, σελ. 16-18

Δ. ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ, ΤΙΣ ΛΙΜΝΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΕΣ

1. Τα ποτάμια, σελ. 18-19
2. Οι λίμνες, σελ. 19-20
3. Η θάλασσα, σελ. 20-21

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Α. Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ, σελ. 20-23

Β. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ, σελ. 23-24

Γ. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΥΛΙΚΑ, σελ. 24-28

Δ. ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ, σελ. 28-29

Ε. ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ, σελ. 29

ΣΤ. ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

Χαρακτηριστικά του ευτροφισμού

1. Αύξηση των συγκεντρώσεων θρεπτικών συστατικών, σελ.
2. Αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής, σελ. 30
3. Επίδραση στη βιολογική παραγωγή των τροφικών επιπέδων, σελ. 31
4. Αύξηση της θολερότητας των νερών, σελ. 31
5. Μείωση του οξυγόνου του νερού σε μεγάλο βάθος, σελ. 32
6. Συσσώρευση θρεπτικών ουσιών σε μεγάλο βάθος, σελ. 32
7. Συσσώρευση οργανικών ουσιών στο βυθό. Αύξηση ταχύτητας ιζηματογένεσης, σελ. 32-33
8. Μείωση της ποικιλίας των ειδών, σελ. 33

Ζ. ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΤΙΚΑ, σελ.33

Η. ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΣ (Hg)

1. Προέλευση του υδραργύρου, σελ. 34
2. Τοξικότητα του υδραργύρου, σελ. 34-35
3. Συμπεριφορά του υδραργύρου, σελ. 35-37

Θ. ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb), σελ. 38-40

Ι. ΚΑΔΜΙΟ (Cd), σελ. 40-41

ΙΑ. ΑΡΣΕΝΙΚΟ (As), σελ. 41

ΙΒ. ΧΡΩΜΙΟ (Cr), σελ. 42

ΙΓ. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΑΝΙΟΝΤΑ

1. Προέλευση ανιόντων, σελ. 42-43
2. Φωσφορικά ιόντα, σελ. 43-45
3. Νιτρικά και νιτρώδη ιόντα, σελ. 45-46
4. Κυανιούχα ιόντα, σελ. 46
5. Θειούχα ιόντα, σελ. 46

ΙΔ. ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΑ-ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ-ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ

1. Εντομοκτόνα, σελ. 47-48
2. Ζιζανιοκτόνα, σελ. 48
3. Λιπάσματα, σελ. 48-50

ΙΕ. ΠΟΛΥΧΛΩΡΙΩΜΕΝΑ ΔΙΦΑΙΝΙΛΙΑ, σελ. 50-51

ΙΣΤ. ΤΕΤΡΑΧΛΩΡΟ-ΔΙΒΕΝΖΟ-ΔΙΕΙΝΗ, σελ. 51-52

ΙΖ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, σελ. 52

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ**

Α. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ-ΦΛΟΓΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

1. Γενικά, σελ. 53
2. Θεωρία των μεθόδων, σελ.54-58

Β. ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ ΜΑΖΩΝ

1. Αρχή λειτουργίας, σελ. 59-60
2. Φασματομέτρα και νεώτερα φάσματα μαζών, σελ. 60-63

Γ. ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χρωματογραφία επί προσροφητικής στήλης, σελ. 63-66
2. Χρωματογραφία λεπτής στοιβάδας, σελ. 66-69
3. Χρωματογραφία αερίων ή αέριος χρωματογραφία, σελ. 69-72

Δ. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1. Ανιχνευτές ή μετρητές Geiger-Muller, σελ. 72-73
2. Τρόπος λειτουργίας, 73-74

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί μείζον πρόβλημα της εποχής μας. Προέρχεται από τη διατάραξη της φυσικής ισορροπίας του οικοσυστήματος και είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας του ανθρώπου να εκμεταλλευτεί ή και να "υποτάξει" το φυσικό του περιβάλλον, με στόχο τη βελτίωση των όρων διαβίωσής του.

Η ισορροπία της φύσης απειλείται σοβαρά, τη στιγμή που πρέπει να καταβληθεί κάθε δυνατή προσπάθεια για να διατηρηθούν ανέπαφοι οι μηχανισμοί της φυσικής αυτορρύθμισης της βιόσφαιρας. Η αύξηση του πληθυσμού επέτεινε την ανάγκη αύξησης της παραγωγής σε βασικά είδη ανάγκης όπως ενέργεια, τρόφιμα κ.λπ. Τούτο είχε ως αποτέλεσμα αφενός την ανάπτυξη της βιομηχανίας και αφετέρου τη δημιουργία μεγάλων αστικών κέντρων.

Συνέπεια όλων αυτών, η ρύπανση του περιβάλλοντος, με, μεταξύ άλλων, δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και τη φυσική ανάπτυξη του ανθρώπου.

Ο χώρος των φυσικών επιστημών έχει κατανοήσει το μέγεθος και τη σοβαρότητα του προβλήματος και με επιστημονικές έρευνες, που διέπονται από πνεύμα αλληλεγγύης και συνεργασίας, επιχειρεί να καταδείξει την άμεση ανάγκη λήψεως μέτρων για την έγκαιρη αντιμετώπιση του ζητήματος και να προτείνει λύσεις. Μέρος της προσπάθειας αυτής αποτελεί η εύρεση τρόπων για την όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών πρώτων υλών με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες για την ίδια τη φύση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

### Α. ΤΟΞΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑ

Οι τοξικές ουσίες διεισδύουν στους οργανισμούς, τόσο του ζωικού όσο και του φυτικού βασιλείου με τρεις τρόπους: τον αναπνευστικό, τον επιδερμικό και τον τροφικό.

Από την ίδια τοξική ουσία οι ζωντανοί οργανισμοί παρουσιάζουν ποικίλες διαταραχές αναλόγως με τις απορροφόμενες ποσότητες και τον χρόνο έκθεσης στην τοξική επίδραση.

Έτσι έχουμε οξείες, υποξείες και χρόνιες δηλητηριάσεις.

Η οικοτοξικολογία είναι η επιστήμη που μελετά τους μηχανισμούς διάδοσης των ρυπαντικών ουσιών και ερευνά την ακριβή σχέση ανάμεσα στη δόση μίας τοξικής ουσίας και στην επίδραση που έχει στους οργανισμούς.

Η σχέση μεταξύ δόσης-αποτελέσματος μπορεί να ταξινομηθεί σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Τα αποτελέσματα της χρόνιας έκθεσης σε ασθενείς δόσεις είναι πιο επιβλαβή από τα αποτελέσματα της λήψης σε ένα μικρό χρονικό διάστημα μίας ισοδύναμης ποσότητας μίας τοξικής ουσίας.
2. Τα αποτελέσματα είναι αθροιστικά και μη αντιστρεπτά, όποια και εάν είναι η διάρκεια της έκθεσης.
3. Η συγκέντρωση των απορροφόμενων δόσεων είναι μερική ως συνέπεια της δυνατότητας εντοκαθαρισμού των οργανισμών.
4. Τα αποτελέσματα μικρών τοξικών δόσεων διαπιστώνονται μετά από συγκεκριμένες συγκεντρώσεις.

## Β. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Όπως θα αποδειχθεί παρακάτω, η ρύπανση της θάλασσας αποτελεί συνέπεια του προβλήματος της γενικότερης ρύπανσης, εάν π.χ. η ατμόσφαιρα δέχεται σκόνη μολύβδου, τότε και η θάλασσα θα ρυπαίνεται με μόλυβδο.

Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες που προκαλούν ρύπανση είναι:

Οι βιομηχανικές δραστηριότητες, οι γεωργικές ασχολίες, οι καύσεις και τα αστικά λύματα.

### 1. Βιομηχανικές δραστηριότητες

Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι αέρια, υγρά και στερεά. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα βιολογικά απόβλητα και τα μη βιολογικά απόβλητα. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως υγρά απόβλητα, που είναι πολύ διαδεδομένα στη χώρα μας, όπως απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων, βυρσοδεψεία, βιομηχανίες τεχνητών υφάνσιμων υλών, καρτοποιεία κ.λπ. Το κοινό τους γνώρισμα είναι ότι βιοαποικοδομούνται. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει χημικά απόβλητα μη βιοαποικοδομήσιμα, μερικά από τα οποία είναι τοξικά.

Τα τελευταία μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- α. Βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, αρσενικό, χρώμιο κ.λπ.)
- β. Αλατα (κλωριούχο κάλι, ανθρακικό νάτριο, θειικός χαλκός)
- γ. Οξέα, Βάσεις, Φωσφορικά κ.λπ
- δ. Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες
- ε. Υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, αλειφατικοί)

## 2. Γεωργικές ασχολίες

Η σύγχρονη παραγωγή της γεωργίας έχει ως συνέπεια από τη μία πλευρά την εξάντληση της δυνατότητας του εδάφους για διαρκώς αυξανόμενη παραγωγή και από την άλλη τη χρησιμοποίηση ουσιών που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές είναι τα λιπάσματα και τα γεωργικά φάρμακα (εντομοκτόνα, παρασιτοκτόνα).

Κάθε χρόνο 3.000.000 τόννοι αζώτου μεταπηδούν στην ατμόσφαιρα από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, μεγάλες ποσότητες φωσφόρου, θείου και καλίου, με τη βροχή και τα διάφορα αποχετευτικά κανάλια κινούνται προς τα ποτάμια με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα.

Τέτοια λιπάσματα είναι τα νιτρικά, τα φωσφορικά, τα θειούχα τα ασβεστούχα κ.α. Μια κύρια ρυπογόνος δράση αυτών είναι έμμεση και σχετίζεται με το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Παράλληλα οι κλωριωμένοι υδρογονάνθρακες αποτελούν βάση στα εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα, ακαρεοκτόνα, ουσίες στο συνολό τους απαραίτητες για την αύξηση της γεωργικής παραγωγής.

## 3. Αστικά λύματα

Η αστική ρύπανση προέρχεται από τη συγκέντρωση των λυμάτων των οικισμών και των πόλεων και συνδέεται με τις βιολογικές λειτουργίες του ανθρώπου.

Η απόθεση των αστικών λυμάτων γίνεται μέσω αποχετευτικών αγωγών που καταλήγουν στη θάλασσα και στα ποτάμια. Οι προσθήκες αυτές επιβαρύνουν σημαντικά τα νερά με ρυπογόνες ουσίες.

Η μεγαλύτερη απόθεση στον Ατλαντικό Ωκεανό προέρχεται από τον οχετό της Νέας Υόρκης, στα δυτικά του Long Island Sound.

βιομηχανιών που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή κάρβουνο, από τα διυλιστήρια, από τις βιομηχανίες διαφόρων οργανικών διαλυτών κ.λπ.

Οι πρωτογενείς αυτές ουσίες μετά τη δράση της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργούν τις δευτερογενείς, οι οποίες είναι τοξικές και είναι αποτέλεσμα φωτοχημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα.

Τέτοιοι δευτερογενείς ρυπαντές είναι:

αλδεύδες	κετόνες
όζον	NO <sub>2</sub>
νιτρικοί ανυδρίτες	νιτρικοί εστέρες

### β. Καπνομίχλη

Τα νέφη καπνομίχλης εμφανίζονται σε περιοχές όπου υπάρχουν βιομηχανίες που παράγουν πετροχημικά προϊόντα, θειικό οξύ κ.λπ. όπου το μαζούτ και το κάρβουνο αποτελούν πηγή ενέργειας. Τα νέφη αυτά περιέχουν κατά κύριο λόγο διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και καπνό από αιθάλη CO, CO<sub>2</sub> κ.λπ. Παρακάτω θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα με τις πηγές ρύπανσης.

### Γ. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΩΝ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Οι τοξικές ουσίες κυκλοφορούν και διαδίδονται με τους εξής τρόπους:

- Με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, δηλαδή με τις οριζόντιες και με τις κατακόρυφες κινήσεις των στρωμάτων της ατμόσφαιρας.
- Με το πέρασμα των τοξικών ουσιών από την ατμόσφαιρα στο νερό (κύκλος του νερού).



- Με τη μεταφορά και τη συγκέντρωση των τοξικών ουσιών στη βιομάζα.

- Με τη μεταφορά και τη συγκέντρωση των τοξικών ουσιών στις τροφικές αλυσίδες.

### 1. Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας είναι αυτό που παίζει το βασικότερο ρόλο στη μεταφορά διαφόρων ουσιών. Σε αυτό το στρώμα γίνονται κυρίως δύο ειδών κινήσεις, η κατακόρυφη και η οριζόντια. Στην κατακόρυφη κίνηση έχουμε έντονα φαινόμενα: όταν υπάρχει άπνοια, και με κατάλληλη θερμοκρασιακή στρωμάτωση, έχουμε αναστροφή του ανώτερου με το κατώτερο στρώμα. Αλλά και κατά τη διάρκεια της νύκτας γίνεται μεταφορά του θερμότερου αέρα στα υψηλά στρώματα και του ψυχρότερου στα χαμηλά. Την οριζόντια κίνηση προκαλούν πολλοί λόγοι: ένας παράγοντας είναι η περιστροφή της Γης που σχετίζεται με τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Ένας άλλος είναι και ο σχηματισμός υψηλών και χαμηλών πιέσεων σε διαφορετικές περιοχές που δημιουργεί τοπικούς ανέμους. Όλες αυτές οι κινήσεις έχουν ως χαρακτηριστικό τη μεταφορική ικανότητα. Το παράδειγμα που ακολουθεί μας δείχνει το μέγεθος αυτής της ικανότητας. Γνωρίζουμε από την πρώτη πυρηνική δοκιμή του 1946 στα νησιά Μπικίνι και την πυρηνική δοκιμή των Κινέζων του 1965 πόσο γρήγορα μεταφέρεται ένας ρύπος προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Σε τρεις εβδομάδες εξαπλώνεται σε όλη τη γήινη σφαίρα. Αυτό δίνει μια εικόνα του μεγέθους και της σοβαρότητας των ρυπάνσεων αυτών. Εάν μάλιστα η εκπομπή πραγματοποιηθεί σε ανώτερο στρώμα και μεταξύ  $30^{\circ}$  βορείου και  $30^{\circ}$  νοτίου γεωγραφικού πλάτους, τότε

θα μεταφερθεί και στα δύο ημισφαίρια, σε τρεις εβδομάδες, δηλ. με μια ταχύτητα 16 m/sec.

## 2. Πέρασμα των τοξικών ουσιών από την ατμόσφαιρα στο νερό

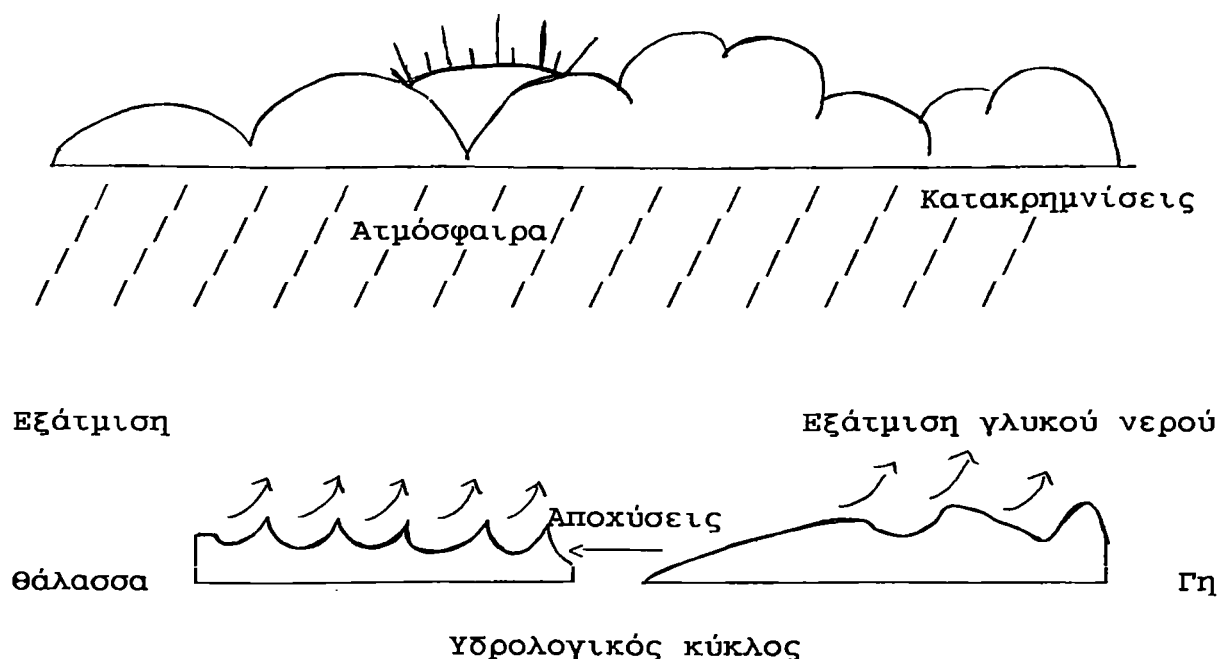
Οι τοξικές ουσίες που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα εύκολα μεταφέρονται στο νερό μέσω της βροχής.

Το νερό, γλυκό ή αλμυρό, είναι ένα ουσιώδες συστατικό της ζωής, καλύπτει το 70% της επιφάνειας της Γης και η ρύπανση του μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον στο οποίο ζει.

### α. Κύκλος του νερού

Το νερό όπως και κάθε άλλη ύλη στη φύση, για να κρατήσει την ισορροπία του ακολουθεί ένα κύκλο. Αφού εξατμιστεί, με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, συμπυκνώνεται στην ατμόσφαιρα και σχηματίζει νέφη τα οποία όταν παγώσουν πέφτουν στη γη με τη μορφή βροχής ή χιονιού. Με αυτό τον τρόπο το νερό επιστρέφει στη γη από εκεί όπου ξεκίνησε. Μαζί με το νερό που εισέρχεται στη γη εισέρχονται και διάφοροι ρύποι που υπήρχαν στην ατμόσφαιρα υγροί, αέριοι ή στερεοί. Ένα μέρος του νερού που επιστρέφει στη γη κατακρατείται από τα φυτά και τα ζώα που το έχουν ζωτική ανάγκη (χρειάζονται 100 τόννοι νερού για να παραχθεί 1 τόννος φυτικής ύλης).

Κάθε στάδιο του κύκλου επιτελεί ένα συγκεκριμένο οικολογικό ρόλο: οι βροχές επιτρέπουν την ανάπτυξη της φυτικής ζωής, η διήθηση εξασφαλίζει την τροφοδότηση των υπόγειων στρωμάτων, που τροφοδοτούν με τη σειρά τους τα ποτάμια κ.λπ.



Από υπολογισμούς που έχουν γίνει έχει βρεθεί ότι το νερό που εξατμίζεται ετησίως είναι ίσο με 335.000 κυβικά χιλιόμετρα. Εάν αυτό το νερό δεν επέστρεφε στη θάλασσα τότε η στάθμη των θαλασσών θα έπεφτε κάθε χρόνο κατά ένα μέτρο.

Η κατανάλωση του νερού αυξάνεται υπερβολικά στις βιομηχανικές χώρες και ενώ οι πλούσιες σε νερό χώρες το σπαταλούν οι φτωχές το στερούνται. Μόνο με κατάλληλες τεχνικές οι πενιχρές φυσικές πηγές νερού θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικότερα.

Όμως μια αλόγιστη επέμβαση του ανθρώπου στους φυσικούς κύκλους μπορεί να επιφέρει αντίθετα αποτελέσματα από τα προσδοκόμενα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το φράγμα του Ασσουάν στην Αίγυπτο. Είναι κατασκευασμένο στα νότια του Δέλτα του Νείλου και δημιουργεί μια τεχνητή λίμνη μήκους 500 χιλιομέτρων, με μέγιστο βάθος 70 m. Στόχοι

της κατασκευής αυτής ήταν η παραγωγή ενέργειας, η καταπολέμηση της ξηρασίας και των πλημμυρών καθώς και η ανάπτυξη της γεωργίας και πέρα από την εύφορη κοιλάδα του Νείλου.

Η κατασκευή αυτή, όμως, επέφερε καταστροφικά αποτελέσματα όπως:

- i. Η τεχνητή πλημμύρα του φράγματος κατέκλυσε καλλιεργήσιμα χωράφια και η λίμνη επεκτείνεται σε επιφάνεια 500 τετραγωνικών χιλιομέτρων.
- ii. Χάνονται τεράστιες ποσότητες νερού (10 δις κυβικά μέτρα κάθε χρόνο) λόγω εξάτμισης.
- iii. Το φράγμα κατακρατεί τις στερεές ύλες οι οποίες όταν φτάσουν στο Δέλτα του ποταμού σχηματίζουν φυσικά αναχώματα ανάμεσα στη θάλασσα και τη λίμνη του γλυκού νερού. Τώρα πρέπει να αναγερθούν εκεί τεχνητά φράγματα.
- iv. Η ιλύς, το φυσικό λίπασμα, που κατακλύζει τα χωράφια την εποχή των ετήσιων πλημμυρών μαζεύτηκε στο βυθό της τεχνητής λίμνης. Τα χωράφια δεν είναι πια εύφορα και χρειάζονται λιπάσματα.
- v. Χωρίς την ιλύ οι τροφικές αλυσίδες έσπασαν από τον πρώτο τους κρίκο, τους παραγωγούς. Η ποσότητα των ψαριών, σημαντική τροφή για τους κατοίκους, μειώθηκε αισθητά.
- vi. Στις όχθες της λίμνης και κατά μήκος των αρδευτικών αγωγών αναπτύχθηκε ένα είδος γαστερόποδου που ευνοεί την αναπαραγωγή πολλών υδρόβιων σκουληκιών, που προσβάλλουν τον άνθρωπο προκαλώντας μια σοβαρή ασθένεια, πολλές φορές θανατηφόρα.
- vii. Τέλος, το αρδευτικό δίκτυο που ξεκινάει από το Νείλο

διαπότισε το υπέδαφος που περιέχει μεγάλες ποσότητες αλάτων, τα οποία με τη σειρά τους διαλύθηκαν και μεταφέρθηκαν μέσω υπογείων ρευμάτων στο αρδευτικό νερό. Το νερό αυτό, αλμυρό πλέον, κατέστρεψε τις καλλιέργειες.

#### β. Μεταφορά των ρύπων στη βροχή

Η βροχή φαίνεται ότι προκαλεί διάλυση των οξειδίων της ατμόσφαιρας καθώς και ομογενή οξειδωση των αερίων αυτών στην αέριο φάση. Στις σταγόνες της βροχής έχουμε οξειδωση του διαλυμένου  $SO_2$  με υπεροξείδιο του υδρογόνου που είναι και αυτό διαλυμένο. Ο σχηματισμός  $NO_2$  μπορεί να γίνει από οξειδωση του  $NO$ . Από το  $NO$ , το  $CO_2$  και το  $SO_2$  σχηματίζεται η όξινη βροχή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το νερό, χάρις στην διαλυτική του ικανότητα, μπορεί να μεταφέρει κάθε ρυπογόνα αέρια ουσία, όπως κλωριωμένους υδρογονάνθρακες, αέρια καύσεων κ.λπ. Άλλη ιδιότητά του είναι να αντιδρά με διάφορες ουσίες, όπως προαναφέρθηκε, και τέλος να μεταφέρει διάφορα σωματίδια σε μορφή σκόνης, τα οποία μπορεί να περιέχουν βαριά μέταλλα όπως υδράργυρο, αμίαντο κ.λπ.

#### γ. Απόπλυση της γης από το βρόχινο νερό

Το νερό της βροχής καθώς πέφτει ρέει πάνω στο έδαφος, παρασύροντας ταυτόχρονα υλικά που αποσπά καθώς και ρυπογόνες ουσίες. Όσο πιο όξινη είναι η βροχή τόσο πιο εύκολα δημιουργεί αποσάθρωση στα πετρώματα, αποσπώντας έτσι κυρίως βαρέα μέταλλα.

#### δ. Μεταφορά στη θάλασσα

Εκτός από τις βροχές η θάλασσα δέχεται ρύπους και από τα

ποτάμια. Ένα μέρος της βροχής που πέφτει στη γη μεταφέρεται μέσω των ποταμών στη θάλασσα, με όλες τις συνέπειες που προαναφέρθηκαν. Μέσω των ποταμών μεταφέρονται, όμως, και αστικά και βιομηχανικά λύματα. Ένα ρυπογόνο συστατικό που φτάνει στη θάλασσα μεταφέρεται παντού χάρις στην κίνησή της.

Η κίνηση της θάλασσας χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στην κατακόρυφη και στην οριζόντια. Στην κατακόρυφη κίνηση έχουμε ανοδικά και καθοδικά ρεύματα χάρις στην εξίσωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας με τη θερμοκρασία των βαθύτερων στρωμάτων κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο. Στην οριζόντια κίνηση, οι άνεμοι που πνέουν συνέχεια κατά την ίδια κατεύθυνση μετατοπίζουν τα επιφανειακά στρώματα σε όλο το μήκος και το πλάτος του πλανήτη και άλλοι προκαλούν τα θαλάσσια ρεύματα που σχηματίζονται κατά τον ίδιο τρόπο, και τα οποία έχουν μεταφορικές ικανότητες. Τέτοια ρεύματα είναι το ρεύμα του Κόλπου Gulf Stream στον Ατλαντικό Ωκεανό και το Curo Sivo στον Ειρηνικό Ωκεανό. Τέλος υπάρχουν και οι παλίρροιες.

### 3. Μεταφορά και συγκέντρωση των τοξικών ουσιών στη βιομάζα

Από τη μάζα του νερού που περιέχει ρυπογόνες ουσίες γίνεται αρπαγή των ουσιών αυτών από κάποιο φυτοπλαγκτονικό οργανισμό ή φυτό. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι αρπαγή του στοιχείου X από θαλάσσιους οργανισμούς σημαίνει πρόσληψη του συγκεκριμένου στοιχείου από τους υπό ανάπτυξη οργανισμούς. Έτσι το τελικό αποτέλεσμα είναι η μείωση του στοιχείου X στη θάλασσα και η μεταφορά του στην οργανική ύλη.

Το κυτταρικό τοίχωμα του φυτοπλαγκτού διαθέτει μικροσκοπικούς

πόρους, αρκετά μεγάλους ώστε να διέρχονται άνετα από αυτούς όλες οι ανόργανες ουσίες και το νερό. Για το λόγο αυτό το κυτταρικό τοίχωμα είναι τελείως διαπερατό. Μόνο η πρωτοπλασματική μεμβράνη παρουσιάζει εκλεκτική διαπερατότητα. Παρ'όλο που δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως, τα άλατα βαρέων μετάλλων και οι οργανικές τοξικές ουσίες ενσωματώνονται στον οργανισμό. Οι ενώσεις αυτές προσκολλώνται, όταν έρθουν σε επαφή με τη βλεννώδη προστατευτική ουσία, ή απορροφώνται από τις λιποειδείς ενώσεις.

#### 4. Μεταφορά στις τροφικές αλυσίδες

Όπως προαναφέραμε, η μεταφορά από το νερό στην βιομάζα ξεκινάει από τους παραγωγούς, σε ότι αφορά τις τοξικές ουσίες. Η μεταφορά στον άνθρωπο γίνεται μέσω των τροφικών αλυσίδων. Η διακλάδωση των τροφικών αλυσίδων τις καθιστά πιο πολύπλοκες, δεδομένου ότι ένα είδος χρησιμοποιεί για τροφή πολλά είδη. Οι πληθυσμοί των οργανισμών που χρησιμεύουν για τροφή σε άλλους πληθυσμούς αποτελούν τα τροφικά επίπεδα. Οι σχέσεις μεταξύ τροφικών επιπέδων εκφράζονται με τα τροφικά δίκτυα ή πλέγματα. Κατά τη μετάβαση από ένα τροφικό επίπεδο σε ένα φτάνουν μέχρι το 90%.

Μετρήσεις έδειξαν τα παρακάτω:

1η φυτοπλαγκτού —> τρέφει 100 kg ζωοπλαγκτού —> τρέφουν 10 kg ψάρια —> τρέφουν 1 kg του ανθρώπινου ιστού

Αντίστροφα όμως, οι τοξικές ουσίες περνώντας από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο συσσωρεύονται μέχρι και 1.000%. Σχετικά με την αναλογία της συγκέντρωσης σε ρύπο στον οργανισμό του θηράματος και του θηρευτή, βγαίνει το παρακάτω συ-

μπέρασμα:

0,01ppb Hg στο νερό —> 40ppb Hg στο ζωοπλαγκτόν —> 400 ppb στα ψάρια

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για τη μεταφορά των τοξικών ουσιών στις τροφικές αλυσίδες είναι η ασθένεια της Μιναμάτα. Το 1956, μια περίεργη αρρώστια εμφανίζεται στη μικρή πόλη Μιναμάτα της Ιαπωνίας, στα νότια του νησιού Κιουσού. Τα πρώτα θύματα, οι γάτες, μοιάζουν να έχουν όλες καταληφθεί από ένα είδος τρέλλας: νιαουρίζουν φριχτά, πηδούν με το σώμα ηλεκτρισμένο και μία-μία αυτοκτονούν πέφτοντας στη θάλασσα.

Η "επιδημία" προσβάλλει σε λίγο καιρό και τους ψαράδες του χωριού: οι άρρωστοι παρουσιάζουν νευρικό τρεμούλιασμα, με δυσκολία κατορθώνουν να εκφραστούν, η όραση τους εξασθενίζει, ύστερα κάνουν τον έλεγχο των κινήσεων τους, ουρλιάζουν, χτυπιούνται βίαια και πεθαίνουν μέσα σε φριχτούς σπασμούς. Η ασθένεια δεν φαίνεται μεταδοτική, αλλά αποδεκατίζει ολόκληρες οικογένειες. Δεκάδες οι νεκροί και εκατοντάδες αυτοί που θα μείνουν σηματομεμένοι για την υπόλοιπη ζωή τους.

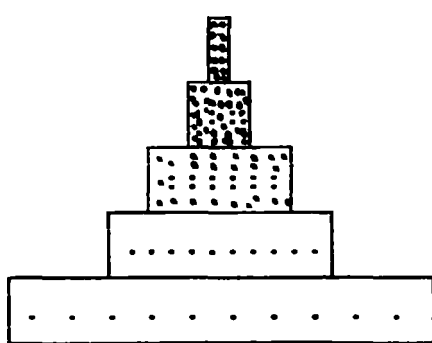
Χρειάστηκαν πολλά χρόνια για να εξακριβωθεί η αιτία του κακού: η ρύπανση του περιβάλλοντος. Όλα τα θύματα, τρώγοντας τα ψάρια του Κόλπου, απορρόφησαν μία εξαιρετικά τοξική ουσία, το μεθυλικό υδράργυρο. Το δηλητήριο χυνόταν στη θάλασσα μαζί με άλλα χημικά προϊόντα από ένα γειτονικό εργοστάσιο.

Διαλυμένο στο νερό, συσσωρευόταν στο πλαγκτόν, τους θαλάσσιους μικροοργανισμούς που επιπλέουν στο νερό και αποτελούν την τροφή των μικρών ψαριών, ακολούθως στα μικρά ψάρια που τρέφονταν με αυτό, μετά στα μεγαλύτερα που τρέφονταν με αυτά και τέλος στο σώμα των ανθρώπων που τα καταλάωναν.

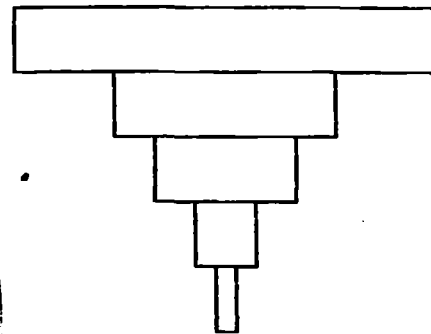


Η ευθύνη της μόλυνσης δεν αποδόθηκε επίσημα στο εργοστάσιο, παρά μόνο τον Μάρτιο του 1973. Χρειάστηκαν 20 σχεδόν χρόνια για να αποκαλυφθεί όλη η αλήθεια σχετικά με το γεγονός. Κατά τη διάρκεια αυτών των 20 χρόνων, κάθε προσπάθεια των ψαράδων των πληγέντων χωριών για δικαστική αναγνώριση των ζημιών τους και απόδοση των ευθυνών καταπνιγόταν από τις πιέσεις των βιομηχάνων και των αρχών. Μετά από 20 χρόνια εισέπραξαν τελικά πενιχρές αποζημιώσεις, ύστερα από σκληρές διαπραγματεύσεις.

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται οι σχέσεις των τροφικών πυραμίδων σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των τοξικών ουσιών.



πυραμίδα βιομαζών



πυραμίδα συγκεντρώσεων τοξικών ουσιών

#### Δ. ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ, ΤΙΣ ΛΙΜΝΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΕΣ

##### 1. Τα ποτάμια

Στις πολιτισμένες χώρες τα ποτάμια συνήθως χρησιμοποιούνται και ως οχετοί των αποχετεύσεων των πόλεων. Αναφέρουμε ενδεικτικά τον ποταμό Ρήνο που πηγάζει από την Ελβετία, περνά από τις βιομηχανικές χώρες Γερμανία, Γαλλία και Ολλανδία και μολύνεται διαρκώς από τα απόβλητα των εργοστασίων που έχουν εγκαταστήσει οι χώρες αυτές στις όχθες του. Η ποτάσα και το κλώριο αυξάνουν συνεχώς τη συγκέντρωσή τους ενώ έχουν

εμφανισθεί υδράργυρος και κάδμιο. Φαίνεται ακόμη πως δεν λείπουν και οι ραδιενεργές ουσίες που διαφεύγουν από τα γερμανικά θερμοπυρηνικά εργοστάσια. Σήμερα ο Ρήνος είναι ένας νεκρός ποταμός.

Στη χώρα μας το πιο μολυσμένο ποτάμι είναι ο Πηνειός, με κύριες πηγές μόλυνσης την Ελληνική Βιομηχανία Ζακάρεως και τη Θεσσαλική Χαρτοποιία. Τα αποτελέσματα της μόλυνσης είναι τα ακόλουθα: κάθε ίκνος ζωής έχει εκλείψει. Τα ψάρια ψοφούν, τα καβούρια, τα βατράχια και οι νεροχελώνες το ίδιο. Στο χωριό Κουλούρι για πρώτη φορά το 30% των προβάτων απέβαλαν στον 4ο μήνα της κύησης. Οι κάτοικοι της περιοχής παρουσιάζουν εκζέματα στα χέρια και υποφέρουν από δύσπνοια (κυρίως όσοι ασχολούνται με το πότισμα).

## 2. Οι λίμνες

Αξίζει να αναφερθεί η μόλυνση της λίμνης Clear Lake της Καλιφόρνια το 1960. Αιτία ήταν το DDT. Η συγκέντρωση του στο νερό ήταν 0,014ppm, ενώ στα ιχθυοφάγα πτηνά ήταν 2.500ppm. Αποτελεί ρεκόρ της βιοενίσχυσης και της μεταφοράς της τοξικής ουσίας μέσα στην τροφική αλυσίδα:

Νερό —> φυτοπλαγκτόν —> ζωοπλαγκτόν - ψάρια μακροφάγα ψάρια ιχθυοφάγα (178.500 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση από ότι στο νερό)

Στη Σουηδία το 1976 βρέθηκαν 19.000 λίμνες δηλητηριασμένες από διοξείδιο του θείου. Το διοξείδιο του θείου σχηματίζει με το νερό θειώδες οξύ, που, σε αυξημένη συγκέντρωση, σκοτώνει τους υδρόβιους οργανισμούς.

Η λίμνη της Καστοριάς κινδυνεύει και μαζί με αυτήν 17 είδη

πτηνών και 9 είδη ψαριών. Αιτία αυτών είναι η μετατροπή της λίμνης σε υπόνομο της πόλης.

### 3. Η θάλασσα

Η θάλασσα μολύνεται και ρυπαίνεται περισσότερο από κάθε άλλο μέρος του οικοσυστήματος της Γης, διότι, πέρα από τη ρύπανση που παρουσιάζει η ίδια επιβαρύνεται με τη μόλυνση όλης της ποσότητας νερού που καταλήγει σε αυτή.

Η μόλυνση στη θάλασσα μεταδίδεται εύκολα αφενός διότι το νερό είναι άριστος διαλύτης για τις περισσότερες ουσίες και αφετέρου διότι τα νερά της θάλασσας δεν είναι ακίνητα. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί περιέχουν λίπη, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και βιταμίνες, όλες δηλ. τις απαραίτητες ουσίες για τη ζωή του ανθρώπου. Οι ποσότητες των οργανισμών που ζούν στη θάλασσα είναι τεράστιες, όχι όμως ανεξάντλητες. Και ο άνθρωπος, με τις αλόγιστες ενέργειές του, συντελεί στον αφανισμό τους.

Η πιο σοβαρή πηγή μόλυνσεως της θάλασσας είναι τα πετρελαιοειδή προϊόντα. Αξίζει να αναφέρουμε την περίπτωση του ναυαγίου του πετρελαιοφόρου "Τόρρεν Κάνυον", στη Μάγχη το 1967. Οι 118.000 τόννοι αργού πετρελαίου που χύθηκαν προκάλεσαν το θάνατο του 85% των πτηνών της περιοχής. Οι βιομηχανίες πετρελαίου που είναι εγκατεστημένες στις ακτές επιβαρύνουν απ'ευθείας τη θάλασσα με πετρελαιοειδή απόβλητα όπως για παράδειγμα στην πόλη Ραβένα, στην Αδριατική, όπου τα περισσότερα πλοία καθαρίζουν τα τεπόζιτα τους στη θάλασσα. Από δεδομένα της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των Η.Π.Α. (NAS), η ποσότητα του πετρελαίου που χύνεται στη θάλασσα αντιστοιχεί σε 6,1 εκ. τόννους το χρόνο. Από την ποσότητα αυτή, ένα

ποσοστό 35% (δηλ. 2,1 εκ. τόννοι) προέρχονται από επισκευές και ατυχήματα πετρελαιοφόρων πλοίων.

Το πετρέλαιο που χύνεται στη θάλασσα δημιουργεί ένα στρώμα που εμποδίζει τους μικροοργανισμούς να απορροφήσουν το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και να το μετατρέψουν, κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, σε ποικίλες οργανικές συνθέσεις, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα στην ατμόσφαιρα οξυγόνο.

Το πετρέλαιο δεν επιδρά αρνητικά μόνο στην οξυγόνωση του θαλασσινού νερού, αλλά και απ'ευθείας στους οργανισμούς.

Διασπάται αργά, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ρητινώδη συσσώματα στην επιφάνεια, οι γνωστοί "βώλοι πίσσας", και κολλοειδή γαλακτώματα στη στήλη του θαλάσσιου νερού. Τα κολλοειδή αυτά καταβυθίζονται αργά στο βυθό καλύπτοντας και καταστρέφοντας σε μεγάλη έκταση τους βενθικούς οργανισμούς. Εμποδίζουν τη λειτουργία των κεραιών των θαλασσίων ζώων, μειώνοντας την ικανότητα αμύνης, εύρεσης τροφής κ.α., ενώ η οσμή του πετρελαίου εμποδίζει την αντίχνευση των οσμών που εκκλύουν άλλα ζώα κατά την περίοδο του ζευγαρώματος, δυσχεραίνοντας έτσι την αναπαραγωγή.

Τα εργαστήρια της Shell έκαναν μια σημαντική ανακοίνωση σχετικά με την ανακάλυψη ενός βακτηριδίου που τρέφεται με πετρελαιοειδή προϊόντα. Η μολυσμένη θάλασσα θα αποτελέσει μοναδικό βιότοπο γι'αυτόν τον οργανισμό, που πιθανόν να κατακλύσει τους ωκεανούς προκαλώντας ευτροφισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Α Ν Α Λ Υ Σ Η Τ Ω Ν Τ Ο Ξ Ι Κ Ω Ν Ο Υ Σ Ι Ω Ν

Α. Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο άνθρακας είναι το στοιχείο κάθε ζωντανής δομής. Δεν υπάρχει ζωή χωρίς άνθρακα. Τα φυτά τον αντλούν από την ατμόσφαιρα και με το νερό τον μετατρέπουν σε ζωντανή ύλη (οργανική), για να χρησιμοποιηθεί κατόπιν ως τροφή από τους ετερότροφους οργανισμούς και να επιστρέψει, μέσω της αναπνοής των φυτών και των ζώων στην ατμόσφαιρα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα από τα περιττώματα και τους νεκρούς οργανισμούς. Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροφή από τα μη πράσινα φυτά (τους αποσυνθέτες) και τα βακτηρίδια. Επίσης μπορεί να συσσωρευτεί ως κούμο (μαυρόχρωμα) ή τέφρα. Με το πέρασμα των χιλιετιών μαζεύτηκαν τεράστιες απολιθωμένες οργανικές μάζες που ο άνθρωπος σήμερα επανακτά με τη μορφή κάρβουνου υδρογονανθράκων.

Στον άνθρωπο οφείλεται η δημιουργία αποθεμάτων στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα. Ο αποθηκευτικός χώρος της θάλασσας παίζει το ρόλο του ρυθμιστή για την ατμόσφαιρα, απορροφώντας το πλεόνασμα του διοξειδίου του άνθρακα από τον αέρα.

Ο άνθρωπος αντλεί απερίσκεπτα τα αποθέματα των καυσίμων ορυκτών (κάρβουνο, πετρέλαιο), αυξάνοντας την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα, με τις διάφορες, αναγκαίες για την παραγωγή ενέργειας, καύσεις. Ο ωκεανός απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα με την ίδια ταχύτητα που αποδεσμεύεται, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται διοξείδιο του

άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Το 1970 υπολογίστηκε ότι ελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα  $15,4 \times 10^9$  τόννοι διοξειδίου του άνθρακα, ενώ η ετήσια αποδέσμευσή του, που οφείλεται στην αναπνοή των φυτών φτάνει τους  $7,2 \times 10^9$  τόννους, συνολικά δηλ.  $87,4 \times 10^9$  τόννοι διοξειδίου του άνθρακα.

Το ποσό του διοξειδίου που δεσμεύεται κατά την φωτοσύνθεση σε παγκόσμια κλίμακα ανέρχεται σε  $11 \times 10^{10}$  τόννους ετησίως.

Υπάρχει, δηλ., ένα θετικό ισοζύγιο (πλεόνασμα) οξυγόνου σε σχέση με το διοξείδιο, που κινδυνεύει όμως να ανατραπεί.

Μία άλλη θεωρία που ξεκινά από την υπερβολική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι αυτή του "φαινομένου του θερμοκηπίου". Το στρώμα του διοξειδίου του άνθρακα δημιουργεί φράγμα στη θερμότητα που εκπέμπει το έδαφος (υπέρυθρη ακτινοβολία) αντί να την αφήσει να διαφύγει, όπως περίπου το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο εμποδίζει τη διάχυση της θερμότητας προς τα έξω. Εμφανίζεται λοιπόν έντονη η απειλή της αυξήσεως της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Μερικοί ειδικοί μάλιστα φοβούνται ακόμη και την τήξη των πάγων, γεγονός που θα ανύψωνε τη στάθμη της θάλασσας μέχρι και 70 μέτρα σε ορισμένες χώρες.

#### **B. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ**

Το αέριο αυτό βρίσκεται στα χαμηλά στρώματα μίας ρυπασμένης ατμόσφαιρας. Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο και αγευστο και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Προέρχεται είτε από ατμοσφαιρικές πηγές, είτε από ωκεανικές, είτε τέλος από την ατελή καύση ανθρακούχων καυσίμων.

Η μεγαλύτερη πηγή CO από καύση (περίπου 75%) είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Η σπουδαιότερη πηγή ατμοσφαιρικού CO είναι η οξειδωση του CH<sub>4</sub>. Σχεδόν όλο το ατμοσφαιρικό CH<sub>4</sub> παράγεται από αποσύνθεση οργανικής ύλης που συντελείται από αναερόβιους οργανισμούς. Μια άλλη φυσική πηγή CO έχει βρεθεί ότι είναι τα επιφανειακά στρώματα των ωκεανών. Δείγματα από επιφανειακά στρώματα ωκεανών περιείχαν ως και 90 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση CO από αυτή που υπολογίστηκε από τα δεδομένα διαλυτότητας του CO και από τη μερική πίεσή του στην ατμόσφαιρα αμέσως πάνω από τη θαλάσσια επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι το CO παράγεται στα επιφανειακά στρώματα των ωκεανών και ότι υπάρχει μιά συνεχής ροή του από τους ωκεανούς στην ατμόσφαιρα.

#### Τοξικότητα του μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Είναι γνωστές οι καταστρεπτικές επιδράσεις του CO στην ατμόσφαιρα, που σχετίζονται με ζωικά αναπνευστικά συστήματα. Η αύξηση της συγκεντρώσεώς του στο αίμα επηρεάζει διάφορα ανθρώπινα όργανα και κυρίως τον εγκέφαλο, όργανο που εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη οξυγόνου, με αποτέλεσμα τη μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου.

#### Γ. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΥΛΙΚΑ

Οι λιγνίτες και οι λιθάνθρακες που περιέχουν ραδιενεργές ουσίες της σειράς του ουρανίου (U), θορίου (Th) και καλίου (<sup>40</sup>K), κατά την καύση αποτελούν τεχνητή πηγή αυξήσεως των φυσικών ραδιενεργών ουσιών. Τα ραδιενεργά υλικά είναι πολύ επικίνδυνα διότι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και διότι οι επιδράσεις τους δεν είναι πάντοτε αμέσως εμφανείς. Αλλα

σχηματίζονται στη φύση, από φυσικούς μηχανισμούς, και άλλα κατασκευάζονται απ'τον άνθρωπο.

Τα ραδιενεργά απόβλητα που προέρχονται από την άμεση ή έμμεση χρήση του ουρανίου, ενός στοιχείου που έχει ημιπερίοδο ζωής εκατομμύρια χρόνια, αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Οι δραστηριότητες του ανθρώπου που επιτείνουν το περιβαλλοντικό πρόβλημα είναι οι εξής:

1. Η εξόρυξη και ο εμπλουτισμός των ορυκτών του ουρανίου για την παραγωγή ραδιενεργών υλικών.
2. Η χρήση των ραδιενεργών υλικών για την παραγωγή πυρηνικών όπλων.
3. Η χρήση των ραδιενεργών υλικών σε πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Έτσι λοιπόν, στην πρώτη περίπτωση, μετά από επίπονη προσπάθεια και πολλές φυσικές διεργασίες εξάγεται το  $U_2O_3$ . Μετά από επεξεργασία, απομακρύνεται το  $U_2O_3$  και παραμένουν μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων (αποβλήτων), δημιουργώντας σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα. Τα απόβλητα αυτά περιέχουν ακόμα ραδιενεργό ουράνιο, το οποίο σιγά-σιγά διασπάται, σκορπίζοντας ραδιενεργό ακτινοβολία. Από τις διασπάσεις αυτές προέρχονται τα Th-230 και Ra-226. Η βροχή παρασύρει τα απόβλητα αυτά, με τελικό αποδέκτη τα φυσικά νερά. Τα Th και Ra, που ακτινοβολούν, απορροφώνται από τα ανθρώπινα οστά, καταστρέφοντας κύτταρα και ιστούς.

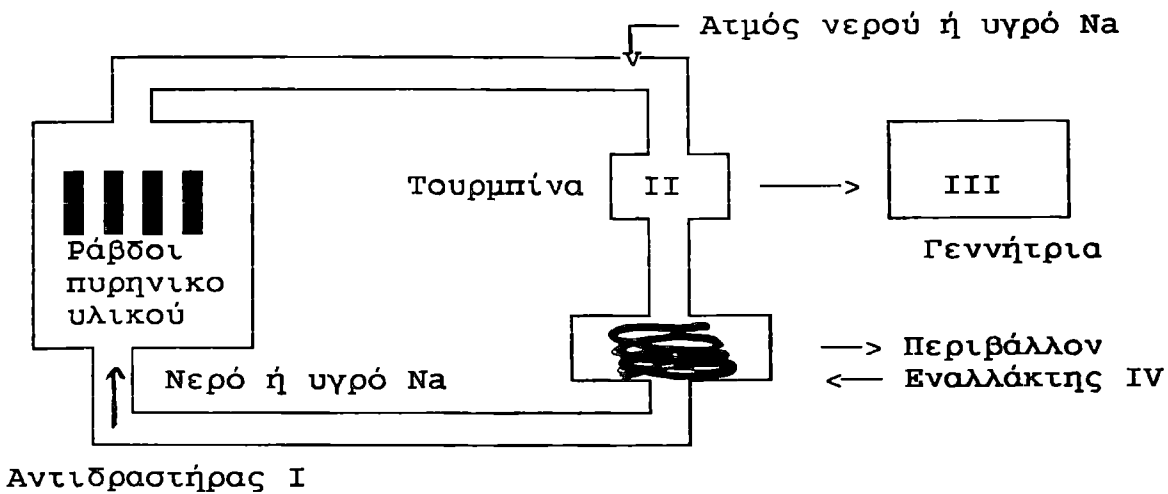
Στη δεύτερη περίπτωση το περιβαντολλογικό πρόβλημα προέρχεται απ'τις πυρηνικές δοκιμές ατομικών όπλων. Τα πυρηνικά όπλα, ως



γνωστό, έχουν ραδιενεργά υλικά, άλλα με μεγάλη και άλλα με μικρή ημιπερίοδο ζωής. Τα ραδιενεργά αυτά στοιχεία μετά τις δοκιμές, παραμένουν στον τόπο όπου χρησιμοποιήθηκαν, ή και στην ευρύτερη περιοχή. Για παράδειγμα, τα ραδιενεργά στοιχεία Sr-90 και Cs-137 απορροφώνται από το περιβάλλον (νερό-λαχανικά-ζώα), καταλήγοντας στη συνέχεια στον άνθρωπο.

Το Sr-90 απορροφάται από τα οστά και τα δόντια και στη συνέχεια επηρεάζει το μυελό των οστών (κύρια πηγή σχηματισμού των κυττάρων του σώματος), προκαλώντας με αυτό τον τρόπο αναιμία και άλλα σοβαρά προβλήματα. Το Cs-137 εισέρχεται και αυτό σε ζωντανά κύτταρα με τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο. Επηρεάζει τα μαλακά μέρη του σώματος και κυρίως τους μύες.

Στην τρίτη περίπτωση εμφανίζονται προβλήματα ρύπανσης από τη λειτουργία πυρηνικών σταθμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στους πυρηνικούς σταθμούς η ενέργεια παράγεται από πυρηνικές αντιδράσεις, δεν προκαλείται επομένως ρύπανση από αέρια καύσεως. Ένας απλός πυρηνικός αντιδραστήρας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Στον αντιδραστήρα I τοποθετούνται τα "καύσιμα" που είναι μίγμα οξειδίων του U-235 και U-238 σε μορφή μικρών ράβδων. Οι ράβδοι αυτοί τοποθετούνται σε σωλήνες από ανοξειδωτο χάλυβα ή ζιρκόνιο. Οι σωλήνες αυτοί είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια αλυσιδωτή πυρηνική διάσπαση μεταξύ των ατόμων του ουρανίου. Τα "καύσιμα" βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες, παράγοντας μεγάλα ποσά ενέργειας, τα οποία απορροφώνται από ένα διαλυτικό μέσο (νερό ή υγρό Na) που κυκλοφορεί στον αντιδραστήρα I και κρατά τη θερμοκρασία στους 600° C.

Ο ατμός που παράγεται στρέφει την τουρμπίνα II της ηλεκτρικής γεννήτριας III. Το υπόλοιπο ενεργειακό περιεχόμενο μετά την τουρμπίνα απορροφάται από τον εναλλάκτη θερμότητας IV, στον οποίο απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού.

Ο κύκλος αυτός παρέχει στον αντιδραστήρα I ψυχρό νερό και το κύκλωμα λειτουργεί ξανά από την αρχή.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από τέτοιου είδους αντιδράσεις είναι:

- Στον αντιδραστήρα I οι σωλήνες που περιέχουν τα "καύσιμα" παρουσιάζουν διαφυγές σκάσιμου υλικού από ρωγμές ή κακή συγκόλληση των σωλήνων. Οι διαφυγές αυτές ρυπαίνουν το ψυκτικό μέσο του αντιδραστήρα I.

- Απόβλητα σκάσεως. Μετά από τρία χρόνια, τα προϊόντα σκάσεως (τα ονομαζόμενα και "στάχτες των πυρηνικών καυσίμων") επιβραδύνουν τις αντιδράσεις και για αυτό πρέπει να απομακρύνονται. Ακολουθείται τότε μια διαδικασία απομάκρυνσης των άχρηστων υλικών (αποβλήτων με υψηλή σκτινοβολία) και επαναχρησιμοποίησης των εύχρηστων πριν ξανακλειστούν οι

σωλήνες και τοποθετηθούν στον αντιδραστήρα Ι.

- Ο εναλλάκτης θερμότητας που δέχεται τα υγρά μετά την τουρμπίνα χρειάζεται μεγάλα ποσά νερού, τα οποία διοχετεύονται, αφού έχουν θερμανθεί, στο περιβάλλον, προκαλώντας οικολογικό πρόβλημα αύξησης της θερμοκρασίας (θερμική ρύπανση).

Οι βλάβες του οργανισμού από ακτινοβολία μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- Σωματικές που αφορούν άμεσα το πρόσωπο που προσβλήθηκε και
- Γενετικές, των οποίων τα αποτελέσματα θα εμφανισθούν μετά από χρόνια στις επόμενες γενιές.

Οι σωματικές βλάβες, που μπορεί να φανούν αμέσως, μετά από μήνες ή χρόνια, είναι βλάβες στην όραση (καταράκτης), στειρότητα, δερματικό κάψιμο κ.α. Τα μάτια, η σπλήνα, τα όργανα αναπαραγωγής, ο μυελός των οστών είναι πολύ ευαίσθητα στις ακτινοβολίες.

#### **Δ. ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ**

Όπως είπαμε, το νερό που χρησιμοποιείται σε κάποιο εργοστάσιο ή πυρηνικό αντιδραστήριο εξέρχεται πιο θερμό από ό,τι ήταν.

Υπολογίστηκε ότι ο σταθμός του Φέσενχαιμ, όταν λειτουργήσει σε πλήρη ισχύ (850.000 KW), θα ζεστάνει το Ρήνο κατά 7<sup>ο</sup> C σε περίοδο μέσης παροχής. Από αυτό το παράδειγμα φαίνεται

ότι η θερμική ρύπανση μπορεί να διαταράξει τη βιολογική ισορροπία ενός βιότοπου αυξάνοντας τη μέση θερμοκρασία του.

Σε μερικές περιπτώσεις το ζεστό νερό θεωρείται επιθυμητό.

Προσθέσεις ζεστού νερού σε συγκεκριμένες τιμές βοηθούν την αύξηση του πληθυσμού των ψαριών σε έναν βιότοπο.

Η θερμική ρύπανση όμως έχει βλαβερά αποτελέσματα στην υδρόβια ζωή, που συνδέονται με το μεταβολισμό των ζωντανών οργανισμών.

Η υψηλή θερμοκρασία επιταχύνει το μεταβολισμό, αυξάνοντας έτσι την ανάγκη σε οξυγόνο, το οποίο όμως μέσα στο νερό είναι περιορισμένο. Τα είδη που ζούν σε χαμηλές θερμοκρασίες αντικαθίστονται σιγά-σιγά από άλλα που ζούν σε υψηλότερες (κυπρίνοι αντί πέστροφες, πολλαπλασιασμός φυκιών) και τα ψάρια αρρωσταίνουν συχνά.

Η διαδικασία αυτή επιταχύνεται διότι στο θερμό νερό υπάρχει λιγότερο οξυγόνο από ό,τι υπάρχει στο ψυχρό νερό. Η έλλειψη οξυγόνου μειώνει την ικανότητα των υδρόβιων μικροοργανισμών να αποσυνθέτουν τα λύματα των πόλεων. Έτσι προκαλούνται δυσωδία, αφροί και ρύποι. Πολλά ψάρια ψοφούν και ο ευτροφισμός επιταχύνεται.

#### Ε. ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Το οξυγόνο είναι μαζί με τον άνθρακα ένα από τα απαραίτητα συστατικά για τη δημιουργία ζωής. Ακολουθεί τον ίδιο κύκλο με τον άνθρακα αλλά σε αντίθετη φορά: αφού παραχθεί με την φωτοσύνθεση, συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα από όπου το αντλούν τα ζώα και τα φυτά.

Οι φυσικές δεξαμενές του, όπως και στον άνθρακα, είναι η θάλασσα και η ατμόσφαιρα, που εξισορροπούνται μεταξύ τους. Ευτυχώς δεν υπάρχει διαταραχή στον κύκλο του εκτός από τις περιπτώσεις των φαινομένων ευτροφισμού, μέσα σε νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών (λιπάσματα, απορρυπαντικά).

#### ΣΤ. ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

Ευτροφισμός είναι η περιβαλλοντική συνθήκη που έχει ως

συνέπεια τη μείωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου και την ταυτόχρονη δημιουργία αυξημένης βιολογικής δραστηριότητας, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη φυτών και αλγών.

### Χαρακτηριστικά του ευτροφισμού

Τα χαρακτηριστικά του ευτροφισμού είναι τα εξής:

- Αύξηση των συγκεντρώσεων θρεπτικών συστατικών.
- Αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής.
- Επίδραση στη βιολογική παραγωγή των τροφικών επιπέδων.
- Αύξηση της θολερότητας των νερών.
- Μείωση του οξυγόνου του νερού σε μεγάλο βάθος.
- Συσσώρευση θρεπτικών ουσιών σε μεγάλο βάθος.
- Συσσώρευση οργανικών ουσιών στο βυθό. Αύξηση ταχύτητας ιζηματογένεσης.
- Μείωση της ποικιλίας των ειδών.

#### 1. Αύξηση των συγκεντρώσεων θρεπτικών συστατικών

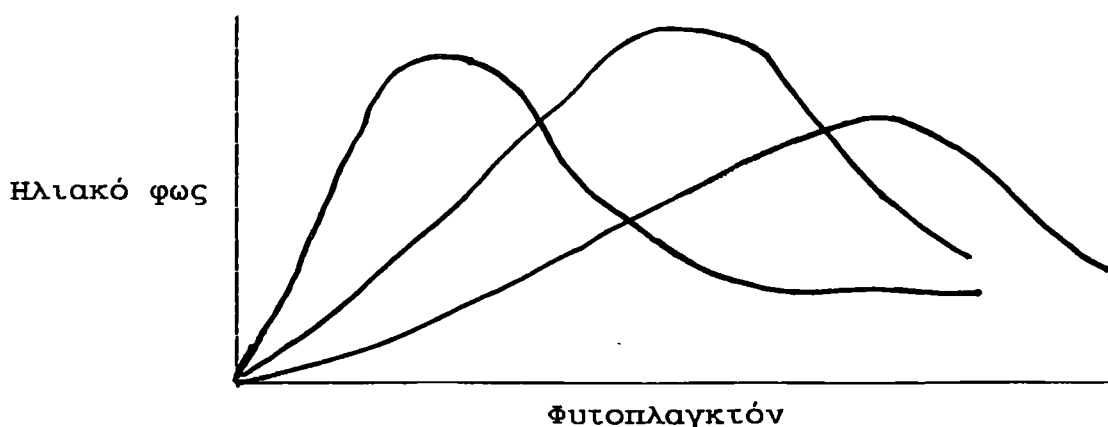
Στο τέλος του χειμώνα, τα νερά είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά λόγω των φερτών υλών που εισέρχονται στη θάλασσα από τα ποτάμια. Αλλά και οι δραστηριότητες του ανθρώπου συντελούν κατά πολύ στην αύξηση των συστατικών αυτών.

#### 2. Αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής

Πρωτογενής παραγωγή είναι η οργανική ύλη η οποία παράγεται στη μονάδα του χρόνου (t) από οργανισμούς που φωτοσυνθέτουν. Εξαρτάται κυρίως από το ηλιακό φως και τις συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών. Τα θρεπτικά συστατικά ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ) είναι απαραίτητα για τη δημιουργία φυτικής ύλης. Η έλλειψή τους προκαλεί μείωση της πρωτογενούς παραγωγής ενώ η αύξηση της συγκέντρωσής τους προκαλεί αύξηση αυτής.

Η πρωτογενής παραγωγή εξαρτάται, όπως αναφέρθηκε, και από την ένταση του ηλιακού φωτός. Έτσι σε χαμηλές εντάσεις φωτός ευνοούνται τα φύκη και τα διάτομα ενώ σε υψηλότερες ευνοούνται τα δεινομαστιγωτά.

Στο κατωτέρω σχήμα φαίνεται η αύξηση του φυτοπλαγκτού σε σχέση με την ένταση του ηλιακού φωτός:



### 3. Επίδραση στη βιολογική παραγωγή των τροφικών επιπέδων

Οι συνέπειες της μείωσης ή και της εξαφάνισης της ποικιλίας των ειδών μεταφέρονται αλυσιδωτά σε όλα τα τροφικά επίπεδα. Η συνολική αύξηση στη βιολογική παραγωγή δεν σημαίνει βέβαια και αύξηση στην παραγωγή ψαριών.

### 4. Αύξηση της θολερότητας των νερών

Τα αιωρούμενα στερεά καθώς επίσης και οι μεγάλες ποσότητες φυτοπλαγκτού που δημιουργούνται εμποδίζουν τη διείσδυση του ηλιακού φωτός σε μεγάλο βάθος, με αποτέλεσμα αυτό να μετατοπίζεται προς την επιφάνεια. Έτσι τα νερά φαίνονται θολά, με χαρακτηριστικό καφέ-κόκκινο χρώμα.

5. Μείωση του οξυγόνου του νερού σε μεγάλο βάθος

Το νεκρό φυτοπλαγκτόν, όπως αναφέρθηκε, συσσωρεύεται στο βυθό όπου αποσυντίθεται, καταναλώνοντας διαλυμένο οξυγόνο. Το διαλυμένο οξυγόνο ανανεώνεται δύσκολα από την ατμόσφαιρα σε μεγάλο βάθος, με αποτέλεσμα τη σταδιακή εξαφάνισή του, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δυσχερή την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών. Παράγονται ακόμη υδρόθειο και αμμωνία (στοιχεία πολύ τοξικά) που μειώνουν τη διαύγεια των νερών (θολερότητα) και έχουν άσχημη οσμή ( $H_2S$ ).

6. Συσσώρευση θρεπτικών ουσιών σε μεγάλο βάθος

Η αύξηση του φυτοπλαγκτού στην επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση ή και εξαφάνιση των θρεπτικών συστατικών με τελικό αποτέλεσμα την καταστροφή του φυτοπλαγκτού που δεν μπορεί πλέον να φωτοσυνθέτει. Έτσι ο μέγιστος όγκος της βιομάζας μετατοπίζεται στα βαθειά νερά όπου υπάρχουν άφθονα θρεπτικά συστατικά. Μεγάλες ποσότητες νεκρού φυτοπλαγκτού βυθίζονται και αποικοδομούνται στα βαθειά νερά, μειώνοντας το οξυγόνο. Ένα μέρος των οργανικών ουσιών εναποτίθεται στο βυθό διότι δεν προλαβαίνει να αποικοδομηθεί.

7. Συσσώρευση οργανικών ουσιών στο βυθό. Αύξηση ταχύτητας ιζηματογένεσης

Ο ευτροφισμός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας της ιζηματογένεσης και, όπως προαναφέρθηκε, τη συσσώρευση στο βυθό μεγάλων ποσοτήτων οργανικής ύλης.

8. Μείωση της ποικιλίας των ειδών

Τα είδη που διαβιώνουν σε αυτό το οικοσύστημα αρχίζουν να μειώνονται σταδιακά. Παραμένουν μόνο τα ανθεκτικότερα σε

αυτές τις συνθήκες.

#### **Z. ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΤΙΚΑ**

Μέχρι το 1950, που ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε το σαπούνι, υλικό με χημική σύνθεση πολύ κοντινή στη σύνθεση προϊόντων που υπάρχουν στη φύση, το φαινόμενο του ευτροφισμού δεν ήταν τόσο συχνό (εκτός εάν επρόκειτο για φυσικό ευτροφισμό).

Αλλωστε, μία μικρή ποσότητα σαπουνάδας σε κάποιο ποτάμι ή λίμνη μπορούσε εύκολα να αποσυντεθεί από βακτηρίδια και ένζυμα.

Η δημιουργία και η χρήση των τεχνητών χημικών συνθέσεων, των απορρυπαντικών, μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, με σκοπό να διασπών τα λίπη ευκολότερα, να λύσουν το πρόβλημα των ασβεστούχων νερών, καθώς και να αρωματίζουν, διαταράσσουν σοβαρά τους φυσικούς βιοχημικούς κύκλους τόσο των γλυκών όσο και των αλμυρών νερών των ημίκλειστων περιοχών.

Τα απορρυπαντικά περιέχουν συνήθως φώσφορο, ο οποίος τρέφει διάφορα μικροσκοπικά φύκια, με αποτέλεσμα το ραγδαίο πολλαπλασιασμό τους και τη μείωση ή την εξαφάνιση άλλων φυτικών ή ζωικών ειδών. Συντελούν με λίγα λόγια στον ευτροφισμό.

#### **H. ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΣ (Hg)**

Ο υδράργυρος είναι ένα από τα πιο τοξικά μέταλλα, ιδιαίτερα οι μεθυλομορφές του, και μπορεί να προκαλέσει ανίατες ασθένειες ή ακόμη και το θάνατο. Οι δηλητηριάσεις των ανθρώπων από υδράργυρο είναι συχνές με συμπτώματα να αισθάνονται κούραση και να είναι ευεραίσθητοι, να έχουν πονοκεφάλους, μούδιασμα στα άκρα, να καταπίνουν δύσκολα, να θαμπώνει η όραση τους, να μην ακούν καλά, να ερεθίζονται



τα ούλα τους και να έχουν μεταλλική γεύση, να διασπώνται τα χρωματοσώματά τους και τελικά να βρίσκουν τι θάνατο.

### 1. Προέλευση του υδραργύρου

Ο υδράργυρος είτε έχει προέλευση φυσική είτε είναι απόρροια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Φυσική προέλευση σημαίνει ότι προέρχεται από τη διάβρωση των εδαφών ή από ηφαίστεια.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες από τις οποίες προέρχεται είναι:

- Καύση στερεών καυσίμων.
- Απώλειες στη βιομηχανία και τη γεωργία.
- Βιομηχανία τσιμέντων.

Ο υδράργυρος εισέρχεται στη θάλασσα από την ατμόσφαιρα, τα ποτάμια και από τα βιομηχανικά απόβλητα και τα αστικά λύματα.

### 2. Τοξικότητα του υδραργύρου

Η τοξικότητα του υδραργύρου οφείλεται στους εξής μηχανισμούς:

- Ο υδράργυρος έχει την ιδιότητα να φράζει δραστικές ομάδες βιομορίων που είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού.
- Εντοπίζει απαραίτητα μέταλλα (Zn, Fe) από βιομόρια και
- Έχει την ιδιότητα να μεταβάλλει την δραστικότητα των βιομορίων.

Οι ιδιότητες αυτές του υδραργύρου οφείλονται κυρίως στο ότι αντιδρά με ομάδες κυστεινών, όπως θα αναφερθεί αναλυτικότερα παρακάτω.

Η τοξικότητα του υδραργύρου μεταβάλλεται από οργανισμό σε οργανισμό. Πιο ευαίσθητοι οργανισμοί είναι τα χέλια, για τα

οποία μόλις μια συγκέντρωση 0,02 ppm είναι θανατηφόρα.

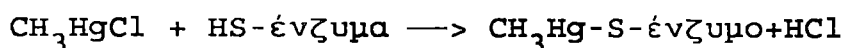
Αντίθετα η artemia είναι πολύ ανθεκτική. Στα φάρια υπάρχει όμως ένας μηχανισμός φυσικής προστασίας απέναντι στις βλαβερές επιδράσεις του υδραργύρου: η μεγάλη περιεκτικότητά τους σε σελήνιο.

Επίσης ο υδράργυρος, ακόμα και σε συγκεντρώσεις 0,05 ppb (0,02 ppm=200 ppb) μειώνει την ικανότητα του φυτοπλαγκτού να φωτοσυνθέτει.

### 3. Συμπεριφορά του υδραργύρου

Ο υδράργυρος αντιδρά με ένα μεγάλο αριθμό ενζύμων, εμποδίζοντας πολλές ουσιώδεις μεταβολικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα τις λεγόμενες δηλητηριάσεις από υδράργυρο.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αντίδρασης του υδραργύρου με τα ένζυμα είναι το εξής:



I

II

δηλαδή αντιδρά το ιόν  $\text{Hg}^{+2}$  με την ομάδα -SH του αμινοξέως κυστεΐνης στα ένζυμα.

Με το σχηματισμό της μορφής II σταματά η δραστηριότητα του ενζύμου σε βιολογικές καταλυτικές αντιδράσεις.

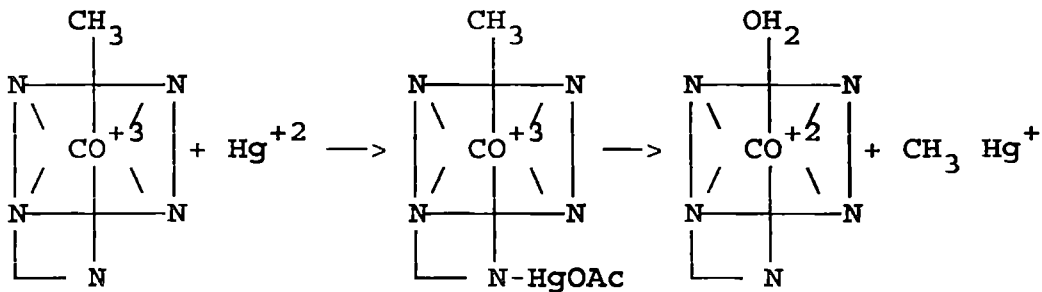
Οι μεθυλοενώσεις του υδραργύρου μπορούν επίσης να διέρχονται από τις μεμβράνες των κυττάρων, λόγω του λιποδιαλυτού μέρους αυτών και να συσσωρεύονται στον εγκέφαλο, ή και ακόμα στα έμβρυα, με σοβαρές συνέπειες. Όταν ο άνθρωπος έρχεται σε άμεση επαφή με τις ενώσεις του υδραργύρου και δηλητηριάζεται, του χορηγούνται χημικές ενώσεις που απομακρύνουν το ιόν  $\text{Hg}^{+2}$  υπό την μορφή συμπλόκων ενώσεων. Τέτοιες είναι: η 2,3

μερκαπτοπροπανάλη (BAL) και το ανιόν του EDTA.

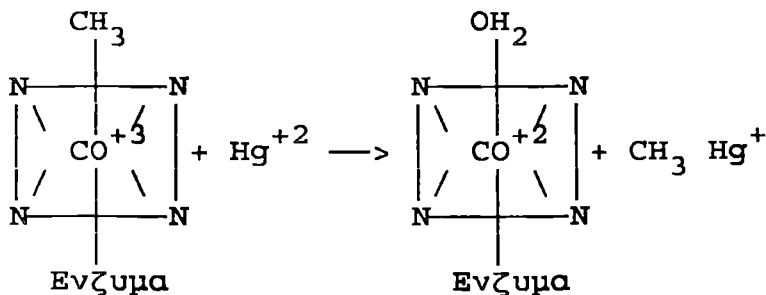
Ο υδράργυρος που βρίσκεται στο υδάτινο περιβάλλον ως  $Hg^0$ ,  $Hg^{+2}$  και οργανομεταλλικές ενώσεις αυτού, εμπλέκεται σε μία σειρά αντιδράσεων με αποτέλεσμα το σχηματισμό τοξικών μεθυλιωμένων παραγώγων του. Οι μεθυλοενώσεις αυτές του υδραργύρου συσσωρεύονται σε οργανισμούς όπως ψάρια, μαλάκια κ.λπ., τα οποία στη συνέχεια εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό, ο οποίος είναι στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας.

Αυτή η περιβαλλοντική μεθυλίωση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

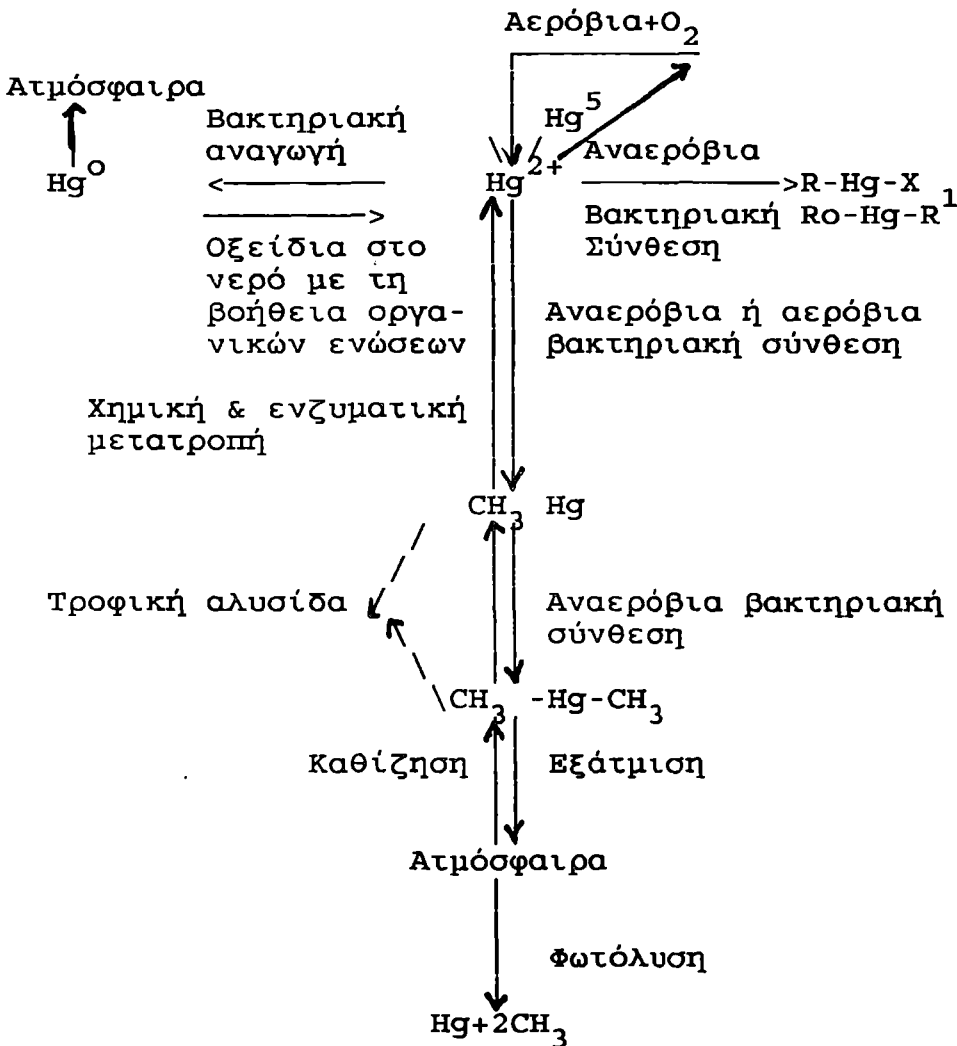
1ος τρόπος: Αναφέρεται σε αναερόβιες συνθήκες χωρίς τη συμμετοχή ενζύμων. Η μεθυλίωση του  $Hg^{+2}$  γίνεται από τη μεθυλο-κοβαλαμίνη που είναι παράγωγο της βιταμίνης  $B_{12}$ , όπως φαίνεται πιο κάτω.



2ος τρόπος: Αναφέρεται σε αερόβιους μηχανισμούς στα κύτταρα, και είναι ενζυματική μέθοδος όπως φαίνεται πιο κάτω.



Μία άλλη περίπτωση που πρέπει να αναφερθεί είναι εκείνη στην οποία ο υδράργυρος, βρισκόμενος στο υδάτινο περιβάλλον (ως  $Hg^0$ ,  $Hg^{+2}$  και οργανομεταλλικές ενώσεις αυτού), λαμβάνει μέρος σε μία σειρά αντιδράσεων που οδηγεί στο σχηματισμό τοξικών μεθυλιωμένων παραγώγων του. Οι μετατροπές αυτές συνεπάγονται έμμεσο κίνδυνο για τον άνθρωπο να γίνει ο τελικός αποδέκτης αυτών των τοξικών ενώσεων. Οι μηχανισμοί αυτών των αντιδράσεων είναι πολύπλοκοι. Ακολουθεί ένα σχήμα, όπου φαίνονται μερικοί από αυτούς τους μετασχηματισμούς του υδραργύρου.



### Θ. ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb)

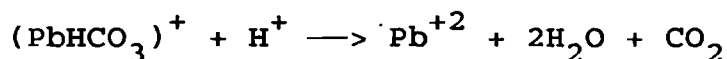
Ο μόλυβδος στο υδάτινο περιβάλλον είτε έχει προέλευση φυσική είτε είναι απόρροια των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Οι μορφές του μολύβδου εξαρτώνται από το υδάτινο περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και η ταξινόμησή τους γίνεται κυρίως με βάση το μέγεθος των σωματιδίων που περιέχουν μόλυβδο.

Έτσι έχουμε:

- Μέχρι το μέγεθος 0,001 μm ο μόλυβδος βρίσκεται με τη μορφή  $Pb^{+2}$  ή ιόντος-διπόλου ( $PbHCO_3^+$ ) ή χημικών συμπλόκων.
- Μέχρι το μέγεθος 0,01 μm ο μόλυβδος σχηματίζει οργανικά σύμπλοκα με τα φουλβικά και χουμικά οξέα.
- Μέχρι το μέγεθος 0,1 μm ο μόλυβδος απορροφάται από κολλοειδή όπως π.χ.  $Al(OH)_3-Pb$   $Fe(OH)_3-Pb$  κ.λπ.
- Μέχρι το μέγεθος 1 μm ο μόλυβδος σχηματίζει οργανομεταλλικές ενώσεις, και
- Από 1 μm και πάνω ο μόλυβδος βρίσκεται με τη μορφή ενώσεων όπως  $PbCO_3$ ,  $Pb(OH)_2$  ή απορροφάται από ανθρακικά άλατα, π.χ.  $CaCO_3$ .

Το μέγεθος των σωματιδίων που περιέχουν μόλυβδο αλλάζει με τη μεταβολή του pH. Έτσι σε όξινο περιβάλλον ο μόλυβδος στην ένωση  $(PbHCO_3)^+$  μετατρέπεται σε ιόντα όπως φαίνεται στην ακόλουθη αντίδραση:



Ο μόλυβδος στο νερό έχει σοβαρές επιπτώσεις στις εξής περιπτώσεις: κατά τη χρησιμοποίησή του σε σωλήνες υδρεύσεως και σε κουτιά κονσερβών και στη βιομεθυλίωση του μολύβδου.

#### Τοξικότητα του μολύβδου

Έχει διαπιστωθεί η επίδραση του μολύβδου σε βιολογικά και

βιοχημικά σχήματα, όπως π.χ. παρεμπόδιση ενζύμων, διακοπή μεγάλου αριθμού μεταβολικών μηχανισμών (σχηματισμός αιμίνης) καθώς και σε συνεργικά φαινόμενα. Έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει κυρίως τον εγκέφαλο και τα νεφρά (χρόνια νεφρίτιδα). Οι επιπτώσεις είναι σοβαρότερες στον εγκέφαλο των εμβρύων, με αποτέλεσμα την άμβλυση της ικανότητας εκμάθησης του ανθρώπου.

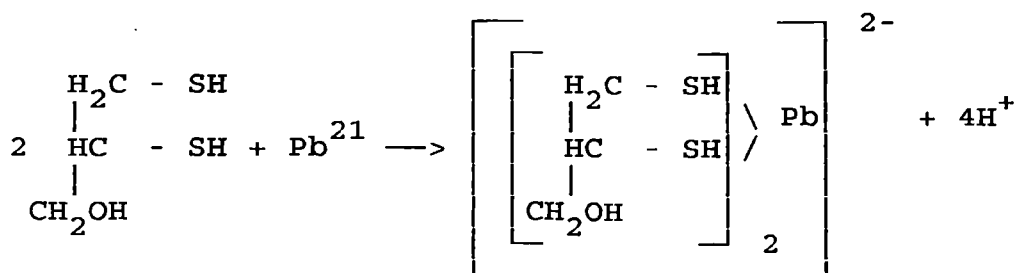
Μελέτες έχουν δείξει ότι συγκέντρωση του μολύβδου στο αίμα κάτω από 80  $\mu\text{g}/\text{dl}$  επηρεάζει τη νευρική συμπεριφορά των ενηλίκων. Τιμές μολύβδου στο αίμα 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$  θεωρούνται σήμερα επικίνδυνες για τους εργάτες της βιομηχανίας.

Οι μελέτες για τις δυσμενείς επιπτώσεις του μολύβδου στην υγεία του ανθρώπου δεν έχουν ολοκληρωθεί. Υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για επιδράσεις του στο συκώτι, την αναπαραγωγή και το καρδιαγγειακό σύστημα.

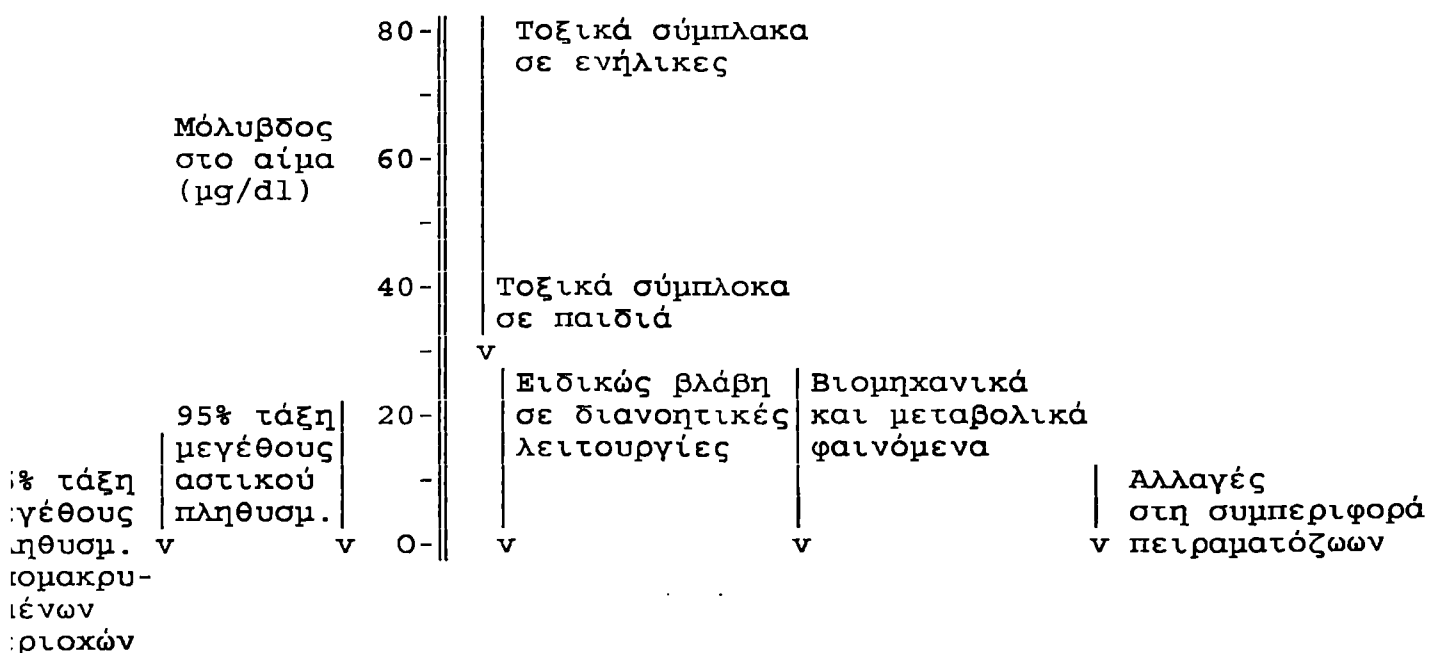
Το πρόβλημα των επιπτώσεων του μολύβδου στη δημόσια υγεία γίνεται εντονότερο, δεδομένου ότι οι μέθοδοι απομακρύνσεώς του από τον ανθρώπινο οργανισμό είναι περιορισμένες.

Συνίστανται κυρίως στη συμπλοκοποίηση του μολύβδου με EDTA. Η μέθοδος με το EDTA απομακρύνει όμως και άλλα μεταλλικά ιόντα (ιχνοστοιχεία) που είναι απαραίτητα στον άνθρωπο, προκαλώντας έτσι μία μετατόπιση του προβλήματος. Μια άλλη μέθοδος είναι η χρήση του αντιδραστηρίου BAL το οποίο αποτελείται από κιτρικό νάτριο και 2,3 διμερκαπτοπροπανόλη και το οποίο χρησιμοποιείται και ως αντίδοτο για δηλητηριάσεις.

Η αντίδραση μπορεί να γραφεί ως εξής:



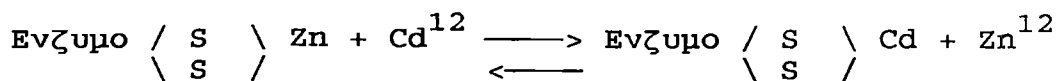
Παρακάτω φαίνονται σχηματικά οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στο αίμα και οι σχετικές επιδράσεις τους:



### I. ΚΑΔΜΙΟ (Cd)

Το κάδμιο είναι ένα από τα επικίνδυνα στοιχεία, όπως ο υδράργυρος και ο μολύβδος. Επιδρά στην ανάπτυξη των οστών και, σε δηλητηριώδεις ποσότητες, στα νεφρά. Η δράση του αναστέλλει τη δράση του ψευδαργύρου, που είναι σημαντικό ιχνοστοιχείο για τα βιολογικά συστήματα και περιέχεται σε πολλά ένζυμα.

Στην παρακάτω αντίδραση φαίνεται η αντικατάσταση του ψευδαργύρου Zn σε ένζυμα στα οποία είναι συνδεδεμένος με θείο S:



Το ένζυμο καθίσταται έτσι ανενεργό.

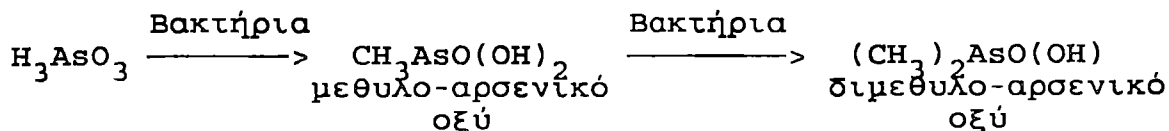
Το κάδμιο μπορεί να εισέλθει στο υδάτινο περιβάλλον είτε από τα ορυκτά του, είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες. Το ανώτερο επιτρεπτό όριο του καδμίου στο νερό είναι 10 µg/lt.

### ΙΑ. ΑΡΣΕΝΙΚΟ (As)

Οι πιο κοινές μορφές του αρσενικού στο νερό είναι: τα αρσενικόδη ιόντα όπως  $\text{AsO}_2^-$  και  $\text{AsO}_3^{-3}$  και τα αρσενικά  $\text{AsO}_4^{-3}$ , που είναι και λιγότερο τοξικά.

Το αρσενικό βρίσκεται στα φωσφορικά λιπάσματα ως πρόσμιξη καθώς και σε άλλα φωσφορικά παρασκευάσματα, όπως στα απορρυπαντικά. Ακόμη, οι καύσεις του άνθρακα, η παραγωγή τσιμέντου, τα ορυχεία και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες διοχετεύουν αρσενικό στο περιβάλλον.

Η ποσότητα του αρσενικού που υπάρχει στο νερό είναι 2 µg/lt. Για το πόσιμο νερό η ποσότητα αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50 µg/lt. Η χημική συμπεριφορά του αρσενικού φαίνεται με την πιο κάτω αντίδραση:



όπου το αρσενικό στα ιζήματα του ενεργοποιείται από βακτήρια και μεθυλιώνεται. Κατόπιν το διμεθυλο-αρσενικό οξύ ανάγεται και σχηματίζεται  $(\text{CH}_3)_2\text{AsH}$  ή και  $(\text{CH}_3)_3\text{As}$  που είναι πολύ τοξικά.



### ΙΒ. ΧΡΩΜΙΟ (Cr)

Στο υδάτινο περιβάλλον το χρώμιο βρίσκεται σε δύο κυρίως μορφές: τα  $\text{CrO}_4^{-2}$  και  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ . Οι δύο αυτές μορφές περιέχουν Cr(VI) που είναι τοξικό αλλά έχει μικρή διάρκεια ζωής αφού ανάγεται από τις οργανικές ενώσεις σε Cr(III), που δεν θεωρείται τοξικό.

Το ανώτατο επιτρεπτό όριο της συγκέντρωσης του χρωμίου στο πόσιμο νερό είναι 50 µg/lit.

### ΙΓ. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΑΝΙΟΝΤΑ

Τα κυριότερα ανιόντα που υπάρχουν στο νερό είναι τα  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{NO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  και  $\text{CO}_3^{-2}$ . Από αυτά μερικά αποτελούν θρεπτικά συστατικά για κάποιους οργανισμούς και επηρεάζουν το οικοσύστημά μας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως ξαφνική ανάπτυξη φυκών και μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, με τελικό αποτέλεσμα το θάνατο των ψαριών και εξαφάνιση των οστρακοειδών.

#### 1. Προέλευση ανιόντων

Τα ανιόντα μπορεί να προέρχονται είτε από φυσικές πηγές είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Φυσικές πηγές: αποστράγγιση εδαφών, περιττώματα πουλιών, πεσμένα φύλλα δέντρων.

Ανθρώπινες δραστηριότητες: αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα.

Τα οικιστικά λύματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, οι οποίες καταλήγουν στο υδάτινο περιβάλλον.

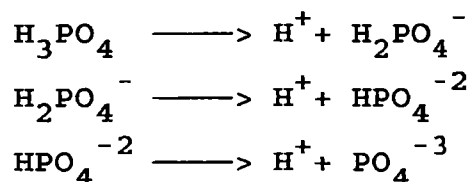
Άλλες ενώσεις ή ανιόντα που δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα είναι τα κυανιούχα ιόντα, που προέρχονται από τις με-

ταλλουργίες, τα απορρυπαντικά και τα οικιστικά λύματα, τα σουλφίδια, που προέρχονται από τα μεταλλουργεία του κάλυβα και από χημικά προϊόντα, και τα εντομοκτόνα που προέρχονται από τις χημικές βιομηχανίες και τη γεωργία.

## 2. Φωσφορικά ιόντα

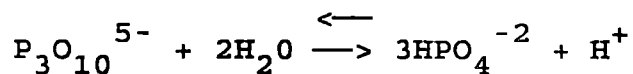
Ο φώσφορος στο περιβάλλον υπάρχει κυρίως με την οξειδωτική του μορφή (P), ως φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) και πολυφωσφορικά ( $\text{HPO}_4^{-2}$ ), σε μικρή συγκέντρωση δισόξινα φωσφορικά ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ) και ως οργανοφωσφορικές ενώσεις.

Η διάσπαση του φωσφορικού οξέος γίνεται ως εξής:



Οι οργανοφωσφορικές ενώσεις είναι προϊόντα αποσύνθεσης βιολογικών υγρών μεταβολισμού διαφόρων οργανισμών και για το λόγο αυτό βρίσκονται κυρίως στα ανώτερα στρώματα.

Τα πολυφωσφορικά περιέχονται σε ανθρώπινα παρασκευάσματα, όπως τα απορρυπαντικά, τα οποία υδρολύονται ως εξής:



Τα σχηματιζόμενα  $\text{HPO}_4^{-2}$  αποσκληραίνουν το νερό από τα άλατα του Ca και Mg και έτσι τα απορρυπαντικά επιτυγχάνουν καλύτερο καθαρισμό.

Τονίζεται για ακόμη μία φορά η συμμετοχή των φωσφορικών ιόντων στην ανάπτυξη του φαινομένου του ευτροφισμού.

### Ο κύκλος του φωσφόρου

Ο κύκλος του φωσφόρου δεν είναι απόλυτα κλειστός. Ένα ποσοστό οργανικού φωσφόρου (σωματιδιακής μορφής) φτάνει στις αποθέσεις, υφίσταται διαγένεση και σχηματίζει ορυκτό απαιτίτη  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH},\text{F})$ .

Ταυτόχρονα νέα ποσά φωσφορικών εισέρχονται στις αποθέσεις από τη διάβρωση των πετρωμάτων, από ποταμούς και άλλα επιφανειακά νερά.

Τόσο η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), όσο και τα διάφορα συν-ένζυμα που παίζουν σημαντικό ρόλο στη φωτοσύνθεση, περιέχουν φώσφορο. Η μέση περιεκτικότητα του θαλάσσιου νερού σε φώσφορο είναι 20-70  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Το φυτοπλαγκτόν λαμβάνει από τη συγκέντρωση αυτή την απαιτούμενη ποσότητα και εισέρχεται στην τροφική αλυσίδα.

Όταν το φυτοπλαγκτόν και τα βακτήρια πεθαίνουν, οι οργανικές ουσίες του φωσφόρου των ιστών τους μετατρέπονται σε φωσφορικές, με τη βοήθεια των "φωσφορασών" που υπάρχουν στα κύτταρα. Το φυτοπλαγκτόν καταναλώνεται στη συνέχεια από το ζωοπλαγκτόν, το οποίο με τη σειρά του καλύπτει έτσι τις ανάγκες του σε φώσφορο. Έτσι στα προϊόντα μεταβολισμού του υπάρχουν οργανικές ενώσεις του φωσφόρου οι οποίες γρήγορα μετατρέπονται σε ανόργανες, με τη βοήθεια άλλων ενζύμων που υπάρχουν εκεί, των "φωσφοριλασών". Όσες οργανικές ενώσεις του φωσφόρου μείνουν μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά με τη βοήθεια βακτηρίων ή ενζύμων.

Τα βιομηχανικά απόβλητα, τα γεωργικά απόβλητα (λιπάσματα) και τα απορρυπαντικά, τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου και καταλήγουν τελικά στη θάλασσα, την εμπλουτίζουν

με θρεπτικά συστατικά (κυρίως ενώσεις φωσφόρου και αζώτου). Τα θρεπτικά συστατικά ευνοούν την ταχεία ανάπτυξη των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών και των αλγών, τα οποία πεθαίνοντας αποσυντίθενται, αφαιρώντας το οξυγόνο από το νερό, με ολέθρια αποτελέσματα για τους ζωικούς οργανισμούς του ίδιου οικοσυστήματος.

Ποσότητα 0,01 mg/lit φωσφόρου σε μορφή ενώσεων είναι αρκετή για να προκαλέσει την υπερβολική ανάπτυξη των φυτών.

### 3. Νιτρικά και νιτρώδη ιόντα

Το άζωτο στο θαλασσινό νερό υπάρχει στις εξής μορφές:

$\text{NO}_3^-$  (νιτρικά)

$\text{NO}_2^-$  (νιτρώδη)

$\text{NH}_3$  (αμμωνία)

### Ο κύκλος του αζώτου

Το άζωτο είναι ένα από τα συστατικά των πρωτεϊνών. Βρίσκεται σε αποθέματα στην ατμόσφαιρα. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ'ευθείας από τα φυτά. Οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν τις οργανικές αζωτούχες ενώσεις σε ανόργανες και κυρίως σε νιτρικά άλατα, τα οποία μπορούν να απορροφηθούν από τις ρίζες των φυτών και να μπουν στις τροφικές αλυσίδες.

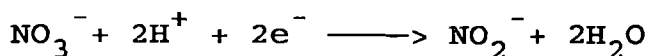
Ο κύκλος του αζώτου έχει μεταβληθεί από τις τεχνικές μεθόδους της σύγχρονης γεωργίας. Τα χημικά λιπάσματα με βάση το άζωτο εμπλουτίζουν τα φτωκά εδάφη και αυξάνουν την παραγωγή.

Μερικά προϊόντα, όμως, με σημαντική περιεκτικότητα σε άζωτο, είναι τοξικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Ακόμη, το επιπλέον άζωτο που δεν κατακρατείται από τα φυτά ρέει σε μεγάλες ποσότητες προς τα ρυάκια, καταλήγοντας στη θάλασσα και προκα-

λώντας ευτροφισμό.

Το φυτοπλαγκτόν συνθέτει πρωτεΐνες από ανόργανα συστατικά  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{NH}_3$ .

Στο περιβάλλον τα νιτρικά ιόντα ανάγονται σε νιτρώδη ως εξής:



Τα νιτρικά ιόντα σχηματίζουν ευδιάλυτα άλατα.

Οι συγκεντρώσεις που μπορούν να υπάρχουν στο πόσιμο νερό

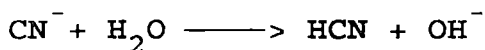
είναι:  $\text{NO}_3^-$  (ως N) 10 mg/lt.

και για  $\text{NO}_2^-$  (ως N) όχι πάνω από 0,1 mg/lt.

#### 4. Κυανιούχα ιόντα

Τα κυανιούχα ιόντα είναι πολύ τοξικά και χρησιμοποιούνται στις μεταλλουργίες.

Υδρολύονται ως εξής:



Τα κυανιούχα ιόντα σχηματίζουν ισχυρούς δεσμούς με Fe (II) της αιμογλοβίνης, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα τοξικά για τον άνθρωπο.

#### 5. Θειούχα ιόντα

Από αποσυνθέσεις οργανικών ενώσεων παράγεται  $\text{H}_2\text{S}$ , το οποίο μέσα στο νερό σχηματίζει σουλφίδια. Τα σουλφίδια βρίσκονται στο νερό κυρίως με τη μορφή  $\text{HS}^-$  και στο φυσικό νερό οξειδώνονται εύκολα σε θειικά ιόντα παρουσία  $\text{O}_2$ .

### ΙΔ. ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΑ-ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ-ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ

Ο άνθρωπος προσπαθώντας να ικανοποιήσει τις ανάγκες διατροφής του βρήκε λύσεις στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής με

τη χρήση λιπασμάτων, εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων. Η χρήση τους δημιούργησε μεγάλο πρόβλημα στο περιβάλλον, εφ' όσον συνδέεται με την εισροή σε αυτό μεγάλων ποσοτήτων αζώτου, φωσφόρου, καλίου και χλωροπαραγώγων υδρογονανθράκων.

Ειδικότερα προκάλεσε:

- Τη μεγάλη ανάπτυξη των φυκών σε ποταμούς και λίμνες.
- Τη δημιουργία βάλτων από τα φύκια που πεθαίνουν και σαπίζουν.
- Κίνδυνο πιθανής εισόδου αυτών των ουσιών στον ανθρώπινο οργανισμό, μέσω αγνώστων μηχανισμών και με απρόβλεπτες για την υγεία του ανθρώπου συνέπειες.

#### 1. Εντομοκτόνα

Τα διάφορα "βιοκτόνα" κατακλύζουν το εμπόριο με ποικίλα ονόματα. Για μία κατηγορία από αυτά, με κυριότερο προϊόν το D.D.T., η οποία περιλαμβάνει χλωριομένους υδρογονάνθρακες, απαγορεύθηκε η κυκλοφορία διότι ήταν ελάχιστα βιοδιασπάσιμη. Έρευνες για τους χλωριωμένους υδρογονάνθρακες απέδειξαν ότι, εκτός από ρύπανση στο περιβάλλον οι περισσότερες από αυτές τις ενώσεις προκαλούν μη ελεγχόμενο πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια, αλλά και αυτά βρέθηκαν να έχουν ανάλογη συμπεριφορά με τα προηγούμενα, οπότε η εφαρμογή τους περιορίστηκε σε ειδικές περιπτώσεις (όχι στη γεωργία). Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν οργανικές ενώσεις, με φώσφορο στο μόριο τους, πολύ πιο τοξικές από το D.D.T., αλλά βιοδιασπάσιμες. Μία τέτοια οργανική ένωση είναι το γνωστό παραθείο, το οποίο χρησιμοποιούν ακόμη πολλοί γεωργοί, με αποτέλεσμα συχνές δηλητηριάσεις ή ακόμη και θανάτους.

Σήμερα χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα τα καρβαμιδικά παράγωγα (καρβαμιδικό οξύ,  $\text{NH}_2\text{COOH}$ ), με γνωστότερο προϊόν το BAYGON. Τα προϊόντα αυτά, τα οποία έχουν αναπτυχθεί σχετικά πρόσφατα, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της εύκολης διάσπασης στο περιβάλλον. Η τοξικότητά τους κυμαίνεται σε μεγάλα περιθώρια. Αλλα είναι περισσότερο και άλλα λιγότερο τοξικά από το D.D.T.

## 2. Ζιζανιοκτόνα

Τόσο τα ζιζανιοκτόνα όσο και τα εντομοκτόνα είναι γνωστά ως παρασιτοκτόνα. Έχουν δύο σκοπούς, την εξασφάλιση της συγκομιδής και την πρόληψη των επιδημιών. Η χρησιμότητά τους, παρά τους κινδύνους που εγκυμονούν, έγκειται στις διαρκείς προσπάθειες του ανθρώπου για αύξηση της γεωργικής παραγωγής, με στόχο την κάλυψη των διαρκώς εντεινομένων αναγκών διατροφής.

Τα ζιζανιοκτόνα χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση ανεπιθύμητων φυτών (ζιζανίων) σε αγροτικές καλλιέργειες και δεν πρέπει να έχουν δηλητηριώδη επίδραση στα καλλιεργούμενα φυτά.

Ένα από τα πιο σημαντικά είναι το 2,4,5 τριχλωροφαινοξυοξικό οξύ (2,4,5-T). Χρησιμοποιείται κυρίως ως αποψιλωτικό. Όταν χρησιμοποιήθηκε (με το όνομα "Agent Orange") στον πόλεμο του Βιετνάμ για την αποψίλωση των δασών, περιείχε 20 ppm TCDD. Η χρήση του είχε δυσάρεστα επακόλουθα, όπως αύξηση των αποβολών εγκύων γυναικών, παραμορφωμένα νεογέννητα, αύξηση των θανάτων από καρκίνο κατά 250% κ.α. Μετά τις διαπιστώσεις αυτές και μετά από σημαντικό αριθμό πειραμάτων η EPA χαρακτήρισε το 2,4,5-T δηλητήριο και απαγόρευσε τη χρήση του.

Το 2,4,5-T παρασκευάζεται από την τριχλωροφαινόλη και περιέχει πρόσμιξη TCDD.

### 3. Λιπάσματα

Ενώ τα καταστρεπτικά αποτελέσματα των εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων έχουν αρχίσει να αναγνωρίζονται από ένα σημαντικό αριθμό ειδικών, οι βλαβερές συνέπειες των χημικών λιπασμάτων, λιγότερο ορατές, έχουν κινητοποιήσει μία μικρή μόνο ομάδα ατόμων.

Τα κυριότερα επιχειρήματα κατά των χημικών λιπασμάτων είναι τα εξής:

- Δίνουν προϊόντα λιγότερο θρεπτικά και γευστικά.
- Απορροφώνται κατευθείαν από τα φυτά, αντί να μετασχηματίζονται προοδευτικά από τα βακτηρίδια του εδάφους. Αυτό μειώνει τη φυσική αντίσταση των φυτών και τις θρεπτικές τους ιδιότητες.
- Περιέχουν κυρίως άζωτο, φώσφορο και κάλιο καθώς και άλλα απαραίτητα για τις καλλιέργειες στοιχεία, κυρίως ανόργανα.
- Υπάγονται στο νόμο της φθίνουσας απόδοσης. Για να αυξηθεί η παραγωγή κατά 34%, ανάμεσα στα έτη 1951 και 1966, απαιτήθηκε αύξηση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας χημικών λιπασμάτων κατά 146%. Η καλλιέργεια των εδαφών με χημικές μεθόδους προκαλεί απώλεια της φυσικής γονιμότητάς τους.
- Επιβαρύνουν οικονομικά τη γεωργία και απαιτούν σημαντική βιομηχανική υποδομή καθώς και μέσα μεταφοράς.
- Τα νερά μεταφέρουν, ρέοντας, στους ποταμούς και στις λίμνες σημαντικές ποσότητες χημικών λιπασμάτων, ενισχύοντας έτσι το φαινόμενο του ευτροφισμού.
- Τέλος, δεν υπάρχουν ανεξάντλητα ορυκτά αποθέματα για την



παραγωγή των χημικών λιπασμάτων.

#### ΙΕ. ΠΟΛΥΧΛΩΡΙΩΜΕΝΑ ΔΙΦΑΙΝΙΛΙΑ

Τα PCB χρησιμοποιούνται από το 1929. Παρ'όλα αυτά η τοξικότητά τους έγινε γνωστή το 1966 και το 1967 στη Σουηδία και στις Η.Π.Α. Στις Η.Π.Α. παρατηρήθηκαν θάνατοι πουλερικών τα οποία τρέφονταν με τροφές που διατηρούνταν σε πλαστικές σακκούλες, οι οποίες είχαν κατασκευαστεί με πολυμερές το οποίο περιείχε PCB. Στην Ιαπωνία από βλάβη σε εργοστάσιο τροφίμων (στην ψυκτική εγκατάσταση) χύθηκε PCB μέσα σε ορυζέλαιο. Αποτέλεσμα ήταν ο θάνατος 700.000 πουλερικών και η δηλητηρίαση πολλών ανθρώπων. Συνέπειες της δηλητηρίασεως ήταν δερματικές παθήσεις, μελανόχρωμα στο δέρμα, βλάβες στη σπλήνα και στα νεφρά καθώς και δημιουργία κακοηθών όγκων.

Παρατηρήθηκε ότι πολλά από τα πουλιά που ζούσαν στη θάλασσα πέθαιναν και ότι ο φλοιός των αυγών τους ήταν πολύ λεπτός και εύθραυστος. Μετά από έρευνες βρέθηκε στο λίπος τους PCB σε ποσότητα 1.000 ppm. Αποδείχθηκε ότι το PPC και το DDT ενεργοποιούν ένζυμα που υπάρχουν στο συκώτι και τα οποία μεταβάλλουν τα οιστρογόνα σε υδατοδιαλυτά, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται εύκολα από το σώμα. Η απομάκρυνση οιστρογόνων συμπίπτει με τη μείωση του ασβεστίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παροχή μικρών ποσοτήτων ασβεστίου κατά τη δημιουργία του φλοιού των αυγών.

Τα PCB βρέθηκαν σε δείγμα μητρικού γάλακτος σε ποσότητα 6,2 PCB/KG. Σε έρευνες που έγιναν στη Δυτική Γερμανία βρέθηκε PCB σε λιπαρούς ιστούς των ανθρώπων.

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας θεωρεί επιτρεπτή ημερήσια πρόσληψη τα 0,01 mg/KG βάρους ανθρώπινου σώματος. Σύμφωνα με τον

FDA, δεν υπάρχει απειλή για την υγεία του καταναλωτικού κοινού από τρόφιμα που περιέχουν PCB. Έτσι εισηγήθηκε την άρση οποιασδήποτε απαγορεύσεως κατά της ουσίας αυτής.

Αντίθετα η εταιρεία Monsanto, που ήταν η μοναδική εταιρεία παραγωγής τους, διέκοψε με δική της πρωτοβουλία την παραγωγή. Τα PCB αντικαταστάθηκαν σήμερα από τα διμεθυλοπολυσιλοξάνια. Οι ουσίες αυτές διαλύονται εύκολα στο περιβάλλον και παρουσιάζουν μικρή τοξικότητα.

#### ΙΣΤ. ΤΕΤΡΑΧΛΩΡΟ-ΔΙΒΕΝΖΟ-ΔΙΞΙΝΗ

Η ουσία αυτή (ή αλλιώς "διοξίνη") είναι 100 φορές τοξικότερη από το κυανιούχο κάλι. Εγινε ευρύτερα γνωστή από το βιομηχανικό ατύχημα του Seveso. Στις 10 Ιουλίου 1976 σε χημικό εργοστάσιο της Βόρειας Ιταλίας διέφυγαν από την εγκατάσταση παραγωγής 2.5 KG TCDD, που μόλυναν τη γύρω περιοχή. Αποτέλεσμα της διαφυγής αυτής ήταν ο θάνατος 50.000 ζώων. Εκατοντάδες άνθρωποι εγκατέλειψαν τα σπίτια τους. Ο αριθμός των παιδιών που γεννιόνταν νεκρά αυξήθηκε και παρουσιάστηκε διπλασιασμός του ποσοστού των αποβολών εγκύων γυναικών σε σχέση με άλλες περιοχές, πολλά παιδιά παρουσίασαν δερματικές παθήσεις.

Στο εργοστάσιο που συνέβη το ατύχημα παραγόταν τριχλωροφαινόλη, που είναι η πρώτη ύλη για την παραγωγή του 2,4,5-τριχλωροφαινοξοξικού οξέως, που χρησιμοποιείται ως ζιζανιοκτόνο, και του απολυμαντικού εξαχλωροφαινίου, όπου η TCDD αποτελεί πρόσμιξη.

Το εξαχλωροφαίνιο, ως βακτηριοκτόνο, χρησιμοποιείται στα απομητικά, στα σαπούνια, στις πούδρες και σε πολλά άλλα καλλυ-

ντικά. Η επικίνδυνη και δηλητηριώδης δράση του οφείλεται πιθανώς στην παρουσία πρόσμιξης διοξίνης. Η δράση της βεβαιώθηκε, όταν έγκυες νοσοκόμες, οι οποίες πλένονταν με σαπούνι που περιείχε εξακλωροφαίνιο, γεννούσαν πολύ συχνότερα παραμορφωμένα παιδιά από ότι νοσοκόμες άλλων νοσοκομείων, όπου δεν γινόταν χρήση σαπουνιού που περιείχε την ένωση αυτή.

#### ΙΣΤ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πρέπει λοιπόν να γίνει συνείδηση όλων μας ότι κάθε τοξική ουσία που διοχετεύεται στο περιβάλλον επιστρέφει σε εμάς διαμέσου των τροφικών αλυσίδων (νερό- φυτοπλαγκτόν- ζωοπλαγκτόν-ψάρια, με τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο), και μάλιστα σε πολλαπλάσια της αρχικής συγκέντρωσης.

Κάθε καταστροφή, δηλαδή, που προκαλούμε στο οικοσύστημα και κάθε αλόγιστη φθορά των φυσικών πόρων αντανακλάται επάνω μας.

Είναι πραγματικά κρίμα "να σκάβουμε το λάκκο μας με τα ίδια μας τα χέρια"...

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Μ Ε Θ Ο Δ Ο Ι Μ Ε Τ Ρ Η Σ Η Σ  
Τ Ω Ν Δ Ι Α Φ Ο Ρ Ω Ν Τ Ο Ξ Ι Κ Ω Ν Ο Υ Σ Ι Ω Ν  
Π Ο Υ Υ Π Α Ρ Χ Ο Υ Ν Σ Τ Ο Ν Ε Ρ Ο

Η παρουσία των μετάλλων στο νερό δημιουργεί σοβαρό πρόβλημα, λόγω της τοξικότητας που παρουσιάζουν.

Τα μέταλλα προσδιορίζονται με τις εξής μεθόδους:

- Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης
- Φλογοφωτομετρία
- Φασματομετρία μαζών
- Χρωματογραφία

Οι παραπάνω μέθοδοι για τον ποσοτικό προσδιορισμό των μετάλλων στο νερό είναι από τις πλέον ενδεδειγμένες διότι δίνουν ακριβή αποτελέσματα, είναι γρήγορες και δεν απαιτούν εκτεταμένους διαχωρισμούς.

Α. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ-ΦΛΟΓΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

1. Γενικά

Η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης και η φλογοφωτομετρία είναι από τις πιο σημαντικές και διαδεδομένες τεχνικές ποσοτικού προσδιορισμού των μεταλλικών και ημιμεταλλικών στοιχείων.

Οι τεχνικές αυτές παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι προσδιορίζουν συγκεντρώσεις της τάξης λίγων ppm ή και μικρότερες και ότι ο τρόπος ανάλυσής τους είναι απλός, αφού η προκατεργασία των δειγμάτων είναι σχεδόν ενιαία και αφού αποβλέπουν μόνο στη διαλυτοποίηση των στοιχείων που πρόκειται να προσδιοριστούν, π.χ. με εκχύλιση ή υγρή καύση.

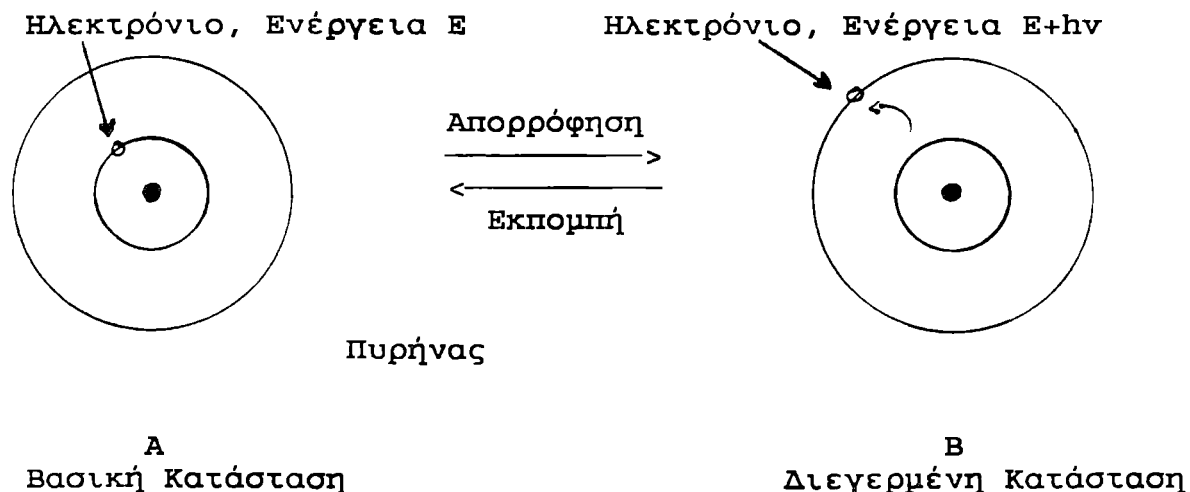
## 2. Θεωρία των μεθόδων

Η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης και η φλογοφωτομετρία θα εξετασθούν μαζί διότι συνδέονται στενά.

Είναι γνωστό (από τον προηγούμενο αιώνα, από τους Bunsen και Kirchhoff) ότι, όταν εισάγονται μέσα σε συνηθισμένη φλόγα άλατα, όπως του νατρίου, καλίου, ασβεστίου κ.α., παράγονται έγχρωμες ακτινοβολίες, χαρακτηριστικές για το κάθε μέταλλο. Η εκπομπή αυτή της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας και ο προσδιορισμός της έντασής της αποτελούν τη βάση της φλογοφωτομετρίας.

Η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης πραγματοποιείται την απορρόφηση εξωτερικής ακτινοβολίας από ένα στοιχείο μέσα σε φλόγα κάτω από ορισμένες συνθήκες. Η χρήση της φλόγας και στις δύο αυτές τεχνικές αναλύσεις σκοπό έχει να φέρει τα στοιχεία στην ατομική τους μορφή, στην κατάσταση δηλ. στην οποία είναι ικανά να εκπέμπουν ή να απορροφήσουν ακτινοβολία.

Οι παραπάνω αρχές παρουσιάζονται διαγραμματικά στο παρακάτω σχήμα:



όπου απεικονίζεται ένα ηλεκτρόνιο γύρω από τον πυρήνα στοιχείου, τόσο στη βασική του κατάσταση A, όσο και στη διεγερμένη του κατάσταση B. Στη βασική του κατάσταση, το ηλεκτρόνιο έχει ενέργεια E, αλλά εάν του χορηγηθεί το ακριβές κβαντό ενέργειας (ακτινοβολία ορισμένης συχνότητας) τότε θα ανέβει σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο (διεγερμένο ηλεκτρόνιο). Η διαφορά μεταξύ των δύο ενεργειακών επιπέδων (καταστάσεων) είναι ίση προς το χορηγημένο (απορροφημένο) κβαντό ενέργειας. Η συνολική ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από το δείγμα του στοιχείου για τη διέγερση του είναι ανάλογη με τον αριθμό των "ευκίνητων" ηλεκτρονίων, δηλ. ανάλογη με τη συγκέντρωση του στοιχείου στο δείγμα.

Η ποσότητα, δηλ., της εξωτερικής ενέργειας (ακτινοβολίας) που απορροφάται για τέτοιες μετατοπίσεις αποτελεί ένα θετικό μέτρο της συγκέντρωσης. Αυτή είναι η βάση της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης, η μέτρηση δηλ. της ποσότητας της ενέργειας ορισμένου μήκους κύματος που είναι αναγκαία για να προκαλέσει καθορισμένες μετατοπίσεις ηλεκτρονίων.

Στην περίπτωση της φλογοφωτομετρίας δεν παρέχεται εξωτερική ενέργεια (ακτινοβολία) και τα συγκριτικώς λίγα μεταλλικά άτομα που διεγείρονται παίρνουν την απαιτούμενη ενέργεια από αυτήν την ίδια τη φλόγα. Αυτή είναι σπουδαιότερη διαφορά μεταξύ των δύο τεχνικών. Βάση της φλογοφωτομετρίας αποτελεί η μέτρηση της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τα διεγερμένα άτομα κατά την επιστροφή στη βασική τους κατάσταση. Και πάλι η ένταση αυτή εξαρτάται από τον αριθμό των "ευκίνητων" ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια από τη συγκέντρωση του στοιχείου στο δείγμα.

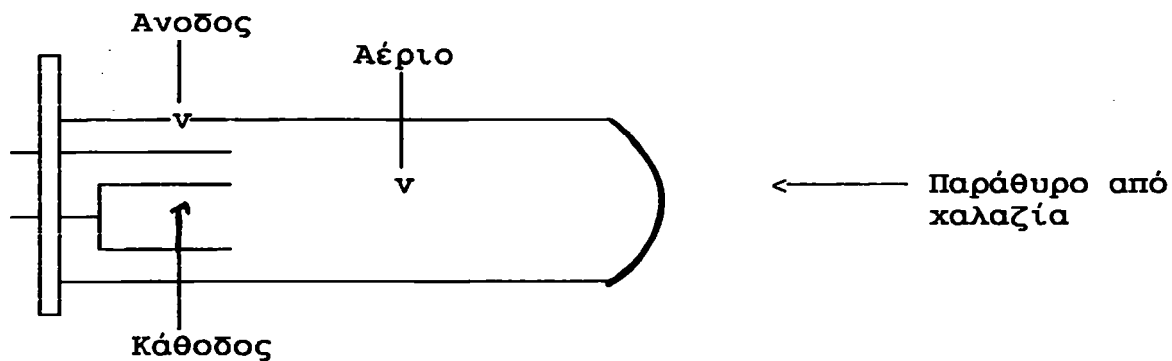
Τα στοιχεία που προσδιορίζονται συνήθως φλογοφωτομετρικώς είναι τα Li, Na, K και Ca.

Το πηλίκο του αριθμού των διεγερμένων από τη φλόγα ατόμων ( $N^*$ ) ενός στοιχείου προς τον αριθμό ( $N_0$ ) των ατόμων που παραμένουν στη βασική τους κατάσταση εξαρτάται κυρίως απ'τη θερμοκρασία της φλόγας.

Π.χ. για το νάτριο  $N^*/N_0$  είναι  $1 \cdot 10^{-5}$  σε  $1093^\circ$  ( $2.000^\circ\text{K}$ ),  $6 \cdot 10^{-4}$  σε  $1649^\circ$  ( $3.000^\circ\text{K}$ ) και  $4 \cdot 10^{-3}$  σε  $2204^\circ$  ( $4.000^\circ\text{K}$ ).

Από τις πιο πάνω τιμές, που είναι και τυπικές, συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση της φλογοφωτομετρίας απαιτείται αυστηρός έλεγχος της θερμοκρασίας της φλόγας, ενώ στην περίπτωση της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης ο έλεγχος αυτός δεν θεωρείται κρίσιμος, λόγω του ότι υπάρχει πολύ μεγαλύτερος αριθμός μη διεγερμένων ατόμων. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα της δεύτερης τεχνικής.

Το κόστος αγοράς ενός φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης είναι πολύ υψηλότερο από αυτό ενός φλογοφωτόμετρου.



Σχηματική παράσταση κοίλης καθοδικής λυχνίας

Πηγή εξωτερικής ενέργειας στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης αποτελεί η κοίλη καθοδική λυχνία. Με αυτήν επιτυγχάνεται εκπομπή ακτινοβολίας καθορισμένου μήκους κύματος, εκείνου

ακριβώς που απαιτείται για τη διέγερση κάθε στοιχείου. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή ή επένδυση της καθόδου της λυχνίας με το ίδιο στοιχείο για την ανάλυση του οποίου προορίζεται. Η λυχνία περιέχει ένα αέριο, συνήθως Νέο ή Αργό, υπό πίεση λίγων mmHg.

Όταν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα λαμβάνει χώρα εκτόξευση ατόμων από το μέταλλο της καθόδου. Μερικά από τα άτομα αυτά, κατά τη σύγκρουση τους με άτομα ή ιόντα Νέου ή Αργού, διεγείρονται και εκπέμπουν τη χαρακτηριστική ακτινοβολία τους.

Υπάρχουν λυχνίες φασματοφωτομέτρων ατομικής απορρόφησης με τις οποίες μπορούμε να προσδιορίσουμε περισσότερα από ένα μέταλλα. Αυτές είτε περιέχουν μια μόνο κάθοδο κατασκευασμένη από κράμα ή από δέσμη ταινιών των αντιστοιχών μετάλλων, είτε περιέχουν πολλές καθόδους από διαφορετικό μέταλλο.

Πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι, τα άτομα που βρίσκονται μέσα στη φλόγα, αφού απορροφήσουν την εξωτερική ακτινοβολία και διεγερθούν, επανακτούν στη συνέχεια την αρχική τους βασική ενεργειακή κατάσταση με εκπομπή ακτινοβολίας της ίδιας συχνότητας με αυτή που απορρόφησαν (την εξωτερική).

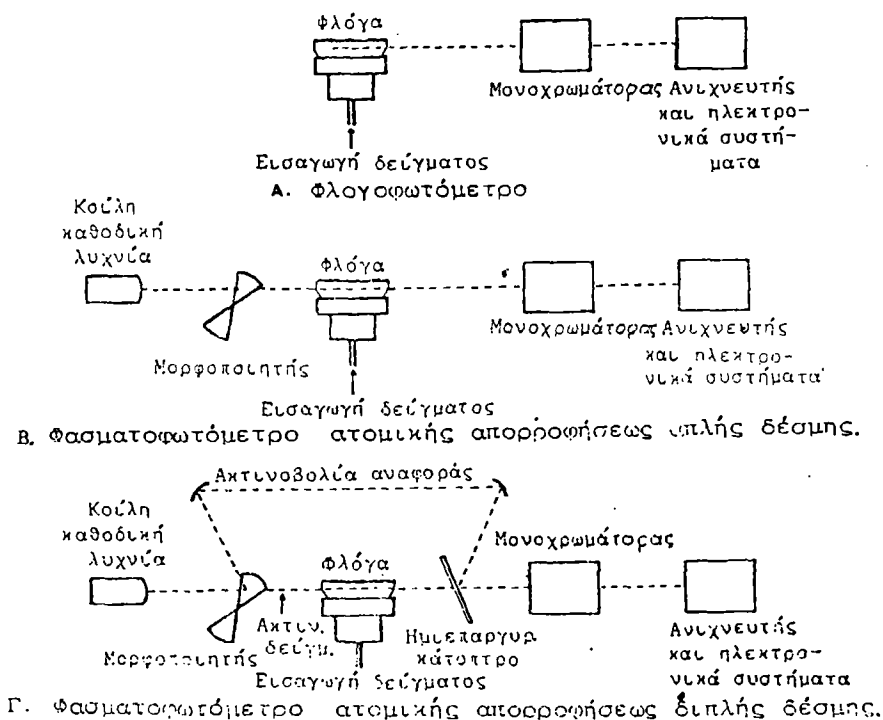
Αυτό αποτελεί πρόβλημα στη μέθοδο φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης, διότι αλλοιώνει το μέγεθος της εξωτερικής ακτινοβολίας που απορροφήθηκε.

Τα φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης διακρίνονται σε φασματοφωτόμετρα απλής και διπλής δέσμης.

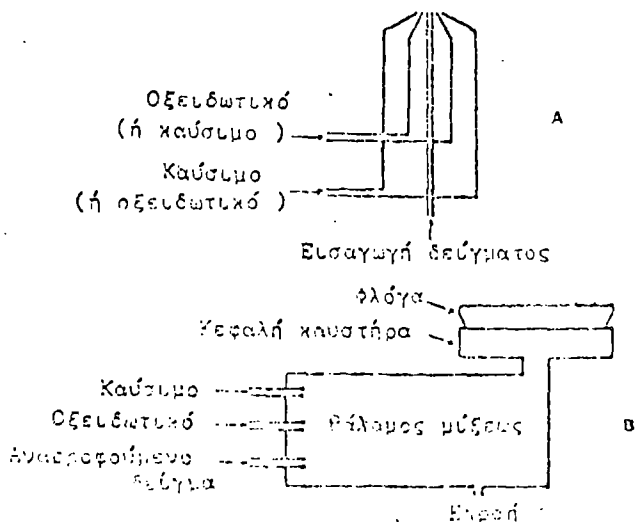
Πιο κάτω φαίνονται σχηματικά φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης απλής και διπλής δέσμης καθώς και τύποι καυστήρων



φλογοφωτομέτρων και φασματοφωτομέτρων ατομικής απορρόφησης.



Σύγκριση των διατάξεων: (A) ενός φλογοφωτομέτρου, (B) ενός φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης απλής δέσμης, και (C) ενός φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης διπλής δέσμης.



Τύποι καυστήρων φλογοφωτομέτρων και φασματοφωτομέτρων ατομικής απορρόφησης.

## B. ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ ΜΑΖΩΝ

### 1. Αρχή λειτουργίας

Ο πρώτος φασματογράφος μαζών επινοήθηκε το 1913 από τον J.J. Thomson και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για το διαχωρισμό των ισοτόπων.

Η λειτουργία του βασίζεται στην εξής αρχή:

Τα άτομα ή τα μόρια μίας ουσίας που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση ιονίζονται. Τα θετικά ιόντα της ουσίας επιταχύνονται με τη βοήθεια ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Η κινητική ενέργεια την οποία αποκτούν κατά την έξοδο τους από το ηλεκτρικό πεδίο θα είναι ίση με το γινόμενο της ηλεκτροστατικής διαφοράς δυναμικού  $V$  επί το φορτίο των ιόντων  $e$ :

$$1/2 * m * v^2 = e * V$$

Στη συνέχεια, λεπτή δέσμη των ιόντων αυτών εισέρχεται σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο εντάσεως  $H$ , του οποίου οι δυναμικές γραμμές είναι κάθετες στη δέσμη των ιόντων. Με την επίδραση του μαγνητικού πεδίου τα ιόντα διαγράφουν κυκλική τροχιά.

Η δύναμη που ασκείται στα ιόντα θα είναι  $H * e * v$ . Επομένως θα έχουμε:

$$H * e * v = m * v^2 / r$$

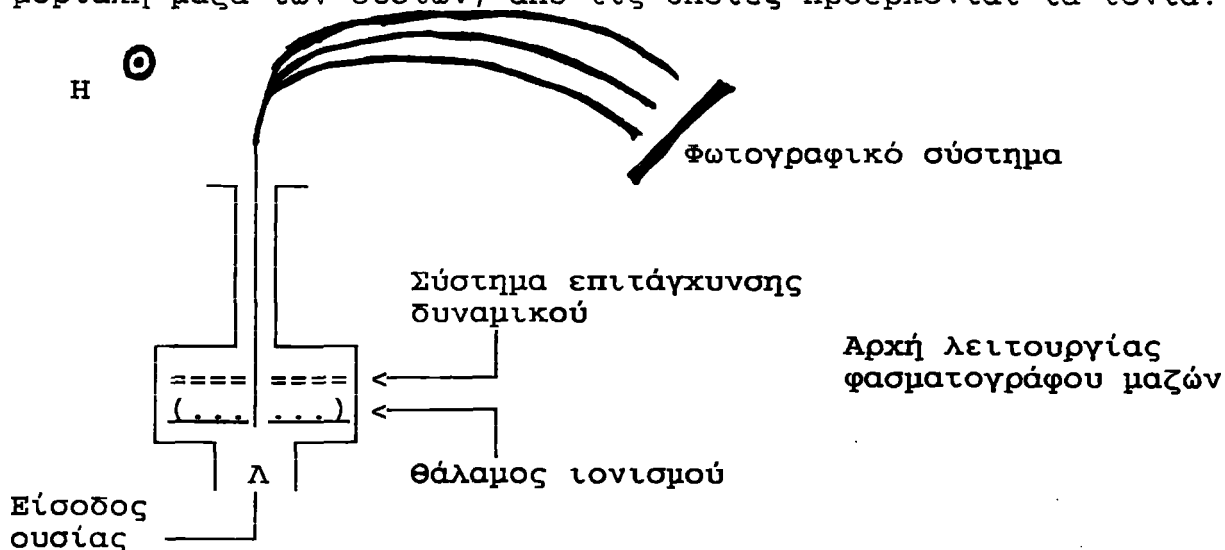
όπου  $r$  η ακτίνα της τροχιάς.

Συνεπώς η ακτίνα της διαγραφόμενης κυκλικής τροχιάς θα είναι:

$$r = m * v / e * H$$

Αρα, εάν η δέσμη αποτελείται από μονοφορτισμένα κατιόντα διαφόρων μαζών (της ίδιας περίπου ταχύτητας), αυτά θα διαγράψουν τροχιές με διαφορετικές ακτίνες, ανάλογα με τις μάζες τους, με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται μέσα στο μαγνητι-

κό πεδίο. Τελικά προσπίπτουν σε φωτογραφική πλάκα (φωτογραφικού συστήματος) και δίνουν διάφορες γραμμές, ο αριθμός των οποίων είναι ίσος με τον αριθμό των ειδών των ιόντων. Με το φάσμα των γραμμών μπορούμε να βρούμε τη μάζα κάθε είδους ιόντων και κατά συνέπεια να καθορίσουμε την ατομική ή μοριακή μάζα των ουσιών, από τις οποίες προέρχονται τα ιόντα.



Η ένταση των γραμμών πάνω στη φωτογραφική πλάκα δίνει το μέτρο της σχετικής ποσότητας των συστατικών της δέσμης των ιόντων που αναλύονται, ενώ το σύνολο των γραμμών αποτελεί το ονομαζόμενο φάσμα μαζών.

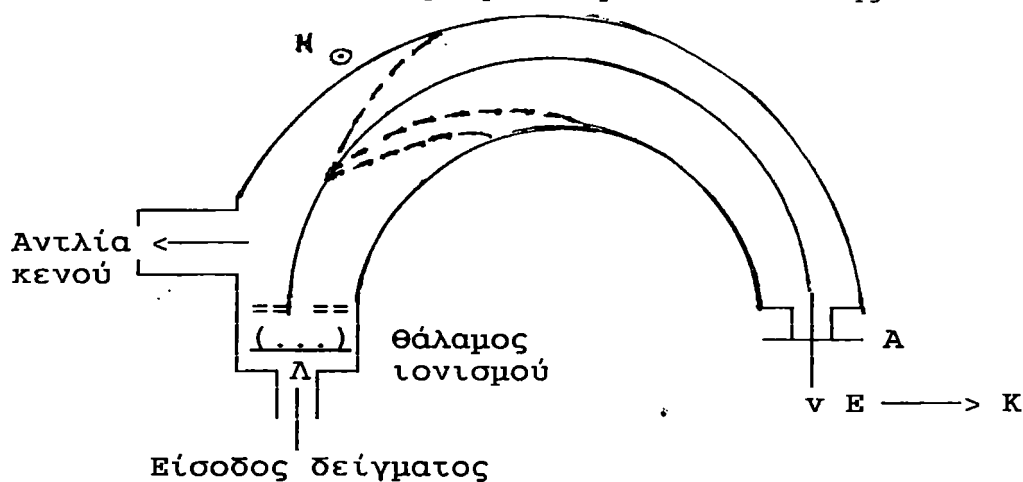
## 2. Φασματοόμετρα και νεώτερα φάσματα μαζών

Σήμερα για τη λήψη του φάσματος μαζών ενός συστήματος (ουσίας) που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση χρησιμοποιούνται διατάξεις, με τις οποίες επιτυγχάνεται διαδοχικά η ίδια ακτίνα τροχιάς για όλα τα συστατικά του υπό μελέτη συστήματος.

Με συνδυασμό των προηγούμενων σχέσεων προκύπτει ότι:

$$m/e = H^2 * r^2 / 2V$$

Για να επιτύχουμε, δηλ., την ίδια ακτίνα τροχιάς για όλα τα συστατικά του συστήματος, πρέπει κάθε φορά να μεταβάλλουμε την ένταση  $H$  του πεδίου ή την τάση  $V$  επιτάχυνσης.

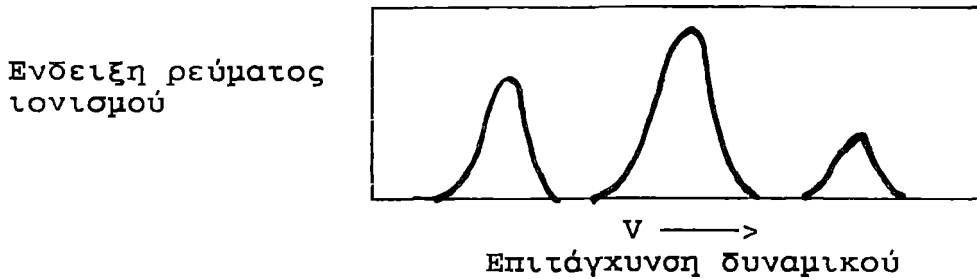


Εάν δεχτούμε ότι μεταβάλλεται συνεχώς η  $V$ , τότε για να φτάσουν τα ιόντα των διαφόρων συστατικών στο ίδιο σημείο, πρέπει για κάθε συστατικό η  $V$  να έχει ορισμένη τιμή. Έτσι λοιπόν, μεταβάλλοντας συνεχώς τη  $V$ , θα φθάσουν στο συγκεκριμένο σημείο τα ιόντα του είδους 1, στη συνέχεια τα ιόντα του είδους 2 κ.ο.κ. Εάν στο συγκεκριμένο αυτό σημείο θεωρήσουμε ότι υπάρχει κατάλληλος δέκτης των ιόντων, τότε αυξάνοντας συνεχώς την τάση  $V$ , αυτός θα δείχνει κατά διαστήματα την έλευση των ιόντων 1, 2, 3 κ.λπ., με τη μορφή ρεύματος ιονισμού. Οι διατάξεις αυτού του είδους λέγονται φασματομέτρα μαζών. Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η αρχή λειτουργίας τους.

Η ουσία μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε φυσική κατάσταση. Εάν είναι αέριος, εισάγεται κατ'ευθείαν στο θάλαμο ιονισμού, εάν είναι υγρή ή στερεή, εισάγεται υπό μορφή ατμού, αφού θερμανθεί πριν σε κενό της τάξεως των  $10^{-6}$  mmHg. Η δέσμη των ηλεκτρονίων που προκαλεί τον ιονισμό έχει συνήθως ενέργεια

70 eV, το δυναμικό επιτάχυνσης είναι περίπου 2000 V και η ένταση του μαγνητικού πεδίου 3.500 Gauss περίπου.

Η κάθε δέσμη ιόντων που φτάνει στον ανιχνευτή A παρέχει ασθενές ρεύμα ιονισμού, το οποίο ενισχύεται με τον ενισχυτή E και καταγράφεται στον καταγραφέα K σε συνάρτηση με την συνεχή αυξανόμενη τάση επιτάχυνσης. Έτσι προκύπτει το διάγραμμα με τη μορφή του παρακάτω σχήματος:

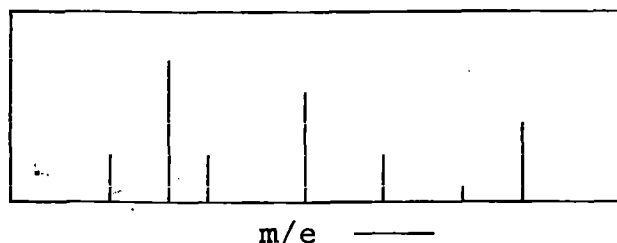


Για τα νεώτερα φασματόμετρα μαζών παρέχεται το ρεύμα ιονισμού σε συνάρτηση με το πηλίκο  $m/e$  (αριθμός μάζας προς το φορτίο των ιόντων). Για αυτά τα φασματόμετρα, τα φάσματα μαζών παρέχονται σε διαγράμματα με συντεταγμένες την ένταση του ρεύματος ιονισμού και το πηλίκο  $m/e$ .

Το σύστημα καταγραφής αποτελείται από τέσσερα κατοπτρικά γαλβανόμετρα. Αυτό μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία προσπίπτει σε ειδικό χαρτί και καταγράφεται με απλή έκθεση αυτού στο ηλιακό φως, αφού δεν απαιτεί υγρή εμφάνιση.

Οι καμπύλες που λαμβάνονται έχουν τη μορφή κατακόρυφων γραμμών και αυτό το φάσμα μαζών εμφανίζεται ως εξής:

Ένταση ρεύματος



Φάσμα μαζών όπως παρέχεται τελικά από το καταγραφικό σύστημα

Στη συνέχεια από το φάσμα που προκύπτει από το σύστημα καταγραφής κατασκευάζεται άλλο διάγραμμα με τεταγμένες τις σχετικές εντάσεις των διάφορων κορυφών (γραμμών).

Η σχετική ένταση δίνει την επι τρις εκατό ένταση μίας γραμμής με βάση το ύψος της υψηλότερης γραμμής, η οποία λαμβάνεται ίση προς 100 (βασική κορυφή). Επειδή κατά τον ιονισμό σχηματίζονται συνήθως μονοφορτισμένα κατιόντα, έχουμε  $e = 1$ , οπότε στον άξονα των τετημένων του φάσματος παρέχονται απ'ευθείας οι αριθμοί μονάδων μάζης των ιόντων.

### Γ. ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

#### 1. Χρωματογραφία επί προσροφητικής στήλης

Η μέθοδος της χρωματογραφικής αναλύσεως ανακαλύφθηκε το 1906 από τον Tswett και εφαρμόσθηκε πρώτα για το διαχωρισμό των χρωστικών των φύλλων, ενώσεων με παραπλήσια χημική σύνταξη.

Η μέθοδος της χρωματογραφίας βασίζεται σε μια σειρά διαδοχικών προσροφήσεων και εκροφήσεων (αναδιαλύσεων), οι οποίες οδηγούν στον πλήρη διαχωρισμό των ουσιών σε διάφορες ζώνες.

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1ο στάδιο: Κύρια προσρόφηση. Το διάλυμα του μίγματος των ουσιών διαβιβάζεται μέσω της προσροφητικής στήλης και, στην

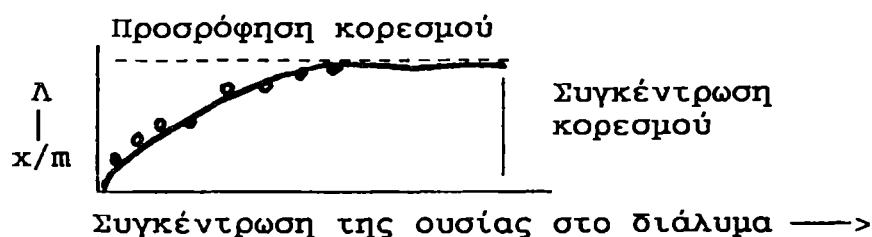
περίπτωση που υπάρχουν έγχρωμες ουσίες, σχηματίζονται δακτύλιοι διαφόρων χρωμάτων (χρωματογράφημα), χωρίς όμως σαφή όρια διάκρισης.

2ο στάδιο: Ανάπτυξη ή Εμφάνιση. Γίνεται με τη διαβίβαση καθαρού διαλυτικού μέσου, μέσω της προσροφητικής στήλης, συνήθως για μίγμα δύο οργανικών διαλυτών και παρέχει σαφέστερο διαχωρισμό μεταξύ των διαφόρων δακτυλίων ή ζωνών. Εάν οι ουσίες που προσροφώνται είναι άχρες, τότε η τανία γίνεται ορατή με την επίδραση υπεριώδους φωτός ή με τη διαβίβαση μέσω της στήλης κατάλληλων αντιδραστηρίων.

3ο στάδιο: Ανάλυση. Γίνεται είτε με το διαχωρισμό των ζωνών με κατάλληλο τεμαχισμό της στήλης και παραλαβή του συστατικού του κάθε τμήματος με εκχύλιση με κατάλληλο διαλυτικό μέσο, είτε με τη διαδοχική διαβίβαση κατάλληλων διαλυτικών μέσων επί της στήλης, τα οποία διαλύουν εκλεκτικά τα συστατικά του συστήματος που διαχωρίζεται.

Ανάμεσα στην ισόθερμη προσρόφηση μίας ουσίας και στις θέσεις, τις οποίες λαμβάνει αυτή κατά τις διαδοχικές προσροφήσεις και εκροφήσεις κατά την έκλουση, υπάρχει στενή σχέση• έτσι η συμπεριφορά μίας ουσίας στη χρωματογραφική στήλη εξαρτάται από την ισόθερμη προσρόφηση της ουσίας αυτής από το προσροφητικό μέσο.

Εστω ότι η ισόθερμη προσρόφηση μίας ουσίας με το προσροφητικό μέσο της στήλης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι οι μικρές συγκεντρώσεις της ουσίας στο διάλυμα και η ποσότητα προσρόφησης  $x/m$  είναι γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του διαλύματος. Η κλίση αυτού του γραμμικού τμήματος παρέχει μέτρο της ταχύτητας μετακίνησης της ταινίας της ουσίας αυτής επί της χρωματογραφικής στήλης, δεδομένου ότι στη χρωματογραφία χρησιμοποιούνται αραιά διαλύματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της ισόθερμης προσρόφησης μίας ουσίας, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα μετακίνησης της ταινίας της ουσίας αυτής κατά την έκλουση, δηλ. τόσο μικρότερη είναι η σχετική απόσταση του κέντρου της ταινίας της ουσίας από την αρχή της στήλης σε σύγκριση με τις άλλες ουσίες, των οποίων η κλίση είναι μικρότερη. Αντιστρόφως, η ταχύτητα μετακίνησης της ζώνης στην προσροφητική στήλη παρέχει μέτρο της κλίσης των ισοθέμων. Η κλίση της ισόθερμης προσρόφησης ισούται με το κλάσμα  $(x/m)/C$ , δηλ. με το βάρος σε γραμμάρια της προσροφούμενης ουσίας ανά γραμμάριο προσροφητικού μέσου από διάλυμα με συγκέντρωση ίση με τη μονάδα. Το κλάσμα αυτό καλείται συντελεστής προσρόφησης και συμβολίζεται με το  $K$ . Η σχετική απόσταση του κέντρου της ζώνης στη χρωματογραφική στήλη από την αρχή ως προς όλο το μήκος της στήλης είναι αντιστρόφως ανάλογη του συντελεστή προσρόφησης, ανάλογη του όγκου του διαλύματος, ο οποίος προήλθε από τη στήλη και αντιστρόφως ανάλογη του βάρους του προσροφητικού μέσου μέσα στη στήλη.

Δηλαδή: 
$$F = a * V/K * G$$

όπου  $F$  = σχετική απόσταση του κέντρου της ταινίας, ως προς  
όλο το μήκος της στήλης από την αρχή αυτής

$K$  = συντελεστής προσρόφησης (κλίση ισοθέμου)

$V$  = όγκος διαλύματος που διαβιβάσθηκε στη στήλη σε  $\text{cm}^3$



$G$  = βάρος σε γραμμάρια του προσροφητικού μέσου μέσα στη στήλη

$a$  = σταθερά αναλογίας η οποία προσδιορίζεται πειραματικά

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι:

Οι προσροφούμενες ουσίες κατανέμονται στην προσροφητική στήλη σύμφωνα με τους συντελεστές προσρόφησής τους.

Παραλλαγή της χρωματογραφίας επί προσροφητικής στήλης αποτελεί η χρωματογραφία κατανομής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε από τους Martin, Gordon και Synge κατά τα έτη 1941-1943 για το διαχωρισμό των αμινοξέων και είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται δύο υγρές φάσεις, μία στατική και μία κινούμενη. Στη στατική φάση χρησιμοποιείται νερό που προσροφάται από οξειδίο του αργιλίου ή ξηρόπηκτο διοξειδίο του πυριτίου, ενώ στην κινούμενη φάση χρησιμοποιείται οργανικός διαλύτης, π.χ. βουτυλική αλκοόλη. Ο διαχωρισμός των συστατικών του μίγματος επιτυγχάνεται ανάλογως με τους συντελεστές κατανομής αυτών μεταξύ των δύο υγρών (νόμος της κατανομής του Henry). Η ταχύτητα με την οποία κινούνται στη χρωματογραφική στήλη τα διάφορα συστατικά του διαχωρισθέντος μίγματος, είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής αυτών στην κατανομή τους στο νερό ως προς τον οργανικό διαλύτη.

## 2. Χρωματογραφία λεπτής στοιβάδας

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Stahl (1956 και αποτελεί συνδυασμό της χρωματογραφίας προσρόφησης και της χρωματογραφίας κατανομής επί κάρτου. Η διαδικασία αυτής της μεθόδου είναι εντελώς όμοια με αυτή της χρωματογραφίας επί κάρτου μόνο που αντί για διηθητικό χαρτί χρησιμοποιούνται πλάκες από

γυαλί ή αδρανές πλαστικό.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στην Οργανική Χημεία για το διαχωρισμό μιγμάτων χημικών ουσιών με παραπλήσια χημική σύνταξη, τα οποία είναι δύσκολο να διαχωριστούν με τις συνηθισμένες μεθόδους.

Η χρωματογραφία λεπτής στοιβάδας εντοπίζει μία ή περισσότερες κηλίδες, ως προς τη σχετική θέση τους, οι οποίες σχηματίζονται με μικρή ποσότητα ουσίας (1 έως 5 mg), πάνω σε λεπτή στοιβάδα προσροφητικού που υπάρχει σε γυάλινο πλακίδιο.

Το πλακίδιο τοποθετείται κατακόρυφα σε ένα κλειστό δοχείο που περιέχει οργανικό διαλύτη (όχι νερό). Καθώς ο διαλύτης ανέρχεται στο προσροφητικό, οι διάφορες ουσίες προωθούνται με διαφορετική ταχύτητα πάνω σε αυτό. Ο λόγος της αποστάσεως, την οποία διανύει κάθε ουσία προς την απόσταση που διανύει το μέτωπο του ανερχόμενου διαλύτη καλείται  $R_f$  της ουσίας.

Το  $R_f$  εξαρτάται από την ικανότητα προσρόφησης της ουσίας ή την ικανότητα διαλύσεώς της.

Η επίστρωση των πλακιδίων TLC γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: δύο γυάλινα πλακίδια, με διαστάσεις π.χ. 25\*75 mm, πλένονται καλά με σαπούνι και νερό, ξεπλένονται με νερό και διάλυμα μεθανόλης 50% και στη συνέχεια ξηραίνονται καλά

Σε μία φιάλη έστω ότι σχηματίζεται κάποιο αιώρημα. Το αιώρημα αυτό αναδεύεται καλά για ένα λεπτό, τα δύο πλακίδια βυθίζονται σε αυτό το ένα πάνω στο άλλο, έπειτα αποσύρονται σιγά-σιγά και αφήνονται να ξηρανθούν. Μετά την εξάτμιση του

διαλύτη τα πλακίδια αποχωρίζονται με προσοχή, ώστε να μην αλλοιωθεί η ομοιογένεια του προσροφητικού και ενεργοποιούνται με θέρμανση για δέκα λεπτά στους  $110^{\circ}$  C.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια τριχοειδούς σωλήνα λαμβάνεται μία σταγόνα διαλύματος 1 mg ουσίας μέσα σε λίγες σταγόνες ενός πτητικού διαλύτη (π.χ. κλωροφόρμιο) και τοποθετείται σε συγκεκριμένο σημείο (αφετηρία) του πλακιδίου. Οι ουσίες που θέλουμε να διαχωρίσουμε ή να χαρακτηρίσουμε τοποθετούνται σε ένα ή περισσότερα σημεία της ίδιας ευθείας. Η απόσταση των σημείων μεταξύ τους καθώς και η απόσταση αυτών από το άκρο του πλακιδίου είναι 10 mm. Η απόσταση των 50 mm από το σημείο αφετηρίας των ουσιών θεωρείται το ανώτατο επιτρεπτό όριο για την άνοδο του διαλύτη. Ο διαλύτης δεν πρέπει να ανέρχεται σε πάνω από τα  $2/3$  του μήκους του συγκεκριμένου πλακιδίου, γιατί στο σημείο αυτό η άνοδος επιβραδύνεται λόγω εξάτμισης, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση της ουσίας στο μέτωπο του διαλύτη.

Το πλακίδιο τοποθετείται στο θάλαμο ανάπτυξης και όταν ο διαλύτης ανέλθει στο προκαθορισμένο σημείο (συνήθως μετά από 10-30 λεπτά) εξέρχεται αμέσως, εμφανίζονται οι κηλίδες και μετά μετριέται το Rf.

Ο θάλαμος ανάπτυξης αποτελείται από ένα ευρύλαιμο φιαλίδιο (με διάμετρο 50 mm και ύψος 100 mm), μέσα στο οποίο τοποθετείται κυκλικά λουρίδα διηθητικού χαρτιού, με διαστάσεις 100\*150 mm. Ο πυθμένας της φιάλης καλύπτεται με το διαλύτη, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη, μέχρι ύψους 5 mm, ώστε να βραχεί καλά το χαρτί. Η φιάλη κλείνεται και αφήνεται σε ηρεμία. Με τη διαπότωση του χαρτιού επιτυχά-

νεται ομοιογένεια στον κορεσμό του δοχείου με τους ατμούς του διαλύτη.

Ο αριθμός και οι θέσεις των κηλίδων του χρωματογραφήματος διαπιστώνονται με το φωτισμό του πλακιδίου με υπεριώδες φως, οπότε οι διάφορες κηλίδες φθορίζουν και σημειώνονται οι θέσεις τους.

Με μια πιο απλή μέθοδο, το πλακίδιο TLC τοποθετείται σε ένα πωματισμένο δοχείο που περιέχει κόκκους ιωδίου, οι ατμοί του οποίου προσβάλλουν τις διαχωρισμένες ουσίες και σχηματίζουν καστανόχρωμες κηλίδες.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ψεκασμός με διάφορα αντιδραστήρια, όπως θειικό οξύ, διάλυμα  $KMnO_4$  κ.λπ.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα τελευταίως και διακρίνεται για την καταπληκτική της διαχωριστική ικανότητα, για την απλότητα της και κυρίως για την ευαισθησία της. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται τέλειος καθαρισμός και ταυτοποίηση των διαφόρων χημικών ουσιών.

### 3. Χρωματογραφία αερίων ή αέριος χρωματογραφία

Η μέθοδος αυτή επινοήθηκε από τους Martin και James (1952). Εφαρμόζεται γενικά για το διαχωρισμό, τον ποσοτικό προσδιορισμό και την πιστοποίηση της ταυτότητας πτητικών ουσιών.

Η πιστοποίηση διαφέρει από εκείνη της υγρής φάσης στο ότι το μίγμα των πτητικών ουσιών που πρέπει να διαχωριστεί πρώτα εξαερώνεται σε ρεύμα κατάλληλου αδρανούς αερίου και έπειτα εισέρχεται στη χρωματογραφική στήλη. Η χρωματογραφική στήλη είναι κατάλληλα κατασκευασμένη και περιέχει είτε προσροφητι-

κές ουσίες, οι οποίες προσροφούν τα αέρια ή τους ατμούς που πρόκειται να διαχωριστούν, είτε κάποιο υγραμμένο στερεό με κατάλληλο υγρό και υψηλό σημείο ζέσεως, στο οποίο διαλύονται οι πτητικές ουσίες που πρέπει να διαχωριστούν. Τα συστατικά του μίγματος διαχωρίζονται μέσα στη στήλη και εξέρχονται από αυτή διαδοχικά μετά το αδρανές αέριο. Στην έξοδο της στήλης υπάρχει μία κατάλληλη συσκευή ανίχνευσης, η οποία δείχνει την παρουσία των διαφόρων συστατικών του δείγματος στο εξερχόμενο από τη στήλη αέριο.

Στην περίπτωση της προσρόφησης η στήλη περιέχει κάποιο προσροφητικό, π.χ. ενεργό άνθρακα, οξειδίο του αργιλίου κ.ά. Τα συστατικά του μίγματος προσροφώνται και έπειτα εξέρχονται από τη στήλη είτε με έκλυση με αδρανές αέριο είτε με εκτόπιση με ατμούς μίας ουσίας, η οποία προσροφάται ισχυρότερα από το προσροφητικό και εκτοπίζει τα συστατικά του μίγματος από τη στήλη.

Στην περίπτωση της διάλυσης των συστατικών στο υγρό με το οποίο βράχηκε η στήλη, τα συστατικά του μίγματος διαλύονται διαδοχικά σε αυτό, παρασύρονται από το αδρανές αέριο (αέριο έκλυσης) το οποίο διέρχεται από τη στήλη και εξέρχονται από αυτή κλασματικά λόγω διαφορετικής κατανομής αυτών στην υγρή στατική φάση.

Η δεύτερη περίπτωση λέγεται και χρωματογραφία αερίου-υγρού. Η μέθοδος αυτή έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε πτητικές ουσίες με σ.ζ. μικρότερο των  $350^{\circ}\text{C}$ , οι οποίες όμως στη θερμοκρασία της χρωματογραφίσεως δεν πρέπει να έχουν τάση ατμών μεγαλύτερη των 10 mmHg.

Στην χρωματογραφία αερίου-υγρού ως στατικοί φορείς χρησιμοποιούνται σώματα υψηλού σ.ζ., π.χ. εστέρες του φθαλικού οξέος και ορισμένοι υγροί υδρογονάνθρακες με μεγάλο μοριακό βάρος.

Η χρωματογραφική στήλη που συνήθως χρησιμοποιείται έχει σπειροειδή μορφή. Η ουσία που πρόκειται να χρωματογραφηθεί εισάγεται με μικροσύριγγα σε ποσότητα από 1-20  $\mu\text{l}$  στη θερμαινόμενη σπειροειδή στήλη και ταυτόχρονα διαβιβάζεται και το αδρανές αέριο, συνήθως He, το οποίο μεταφέρει με διαφορετική ταχύτητα τις ουσίες προς την έξοδο της στήλης. Η έξοδος των ουσιών γίνεται γνωστή με τον ανιχνευτή. Αυτός προσδιορίζει μία φυσικοχημική ιδιότητα των ουσιών, συνήθως τη θερμική αγωγιμότητα αυτών και στη συνέχεια δίνει κατάλληλο σήμα στον ηλεκτρονικό καταγραφέα.

Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την έξοδο του κάθε συστατικού του μίγματος, από την είσοδο του συστήματος μέχρι την εμφάνιση του μεγίστου στο χρωματογράφημα που λαμβάνει ο καταγραφέας λέγεται γενικά χρόνος συγκρατήσεως.

Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευαισθησία και διαχωριστική ικανότητα και βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή στους διαχωρισμούς, στις ταυτοποιήσεις και στον έλεγχο της καθαρότητας κυρίως των οργανικών ουσιών.

Συνοψίζοντας τις μεθόδους μπορούμε να αναφέρουμε ότι:

- α. Η αέριος χρωματογραφία διακρίνει ρύπους σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις της τάξεως του ppt ( $10^{-12}$ ). Η συμβολή της στον προσδιορισμό των πολυχλωριωμένων διφαινυλίων και των εντομοκτόνων είναι σοβαρότατη, εφ'όσον η χρήση κάποιων άλλων μεθόδων θα ήταν πρακτικά αδύνατη.

β. Η χρωματογραφία λεπτής στοιβάδος, έχει συνεχώς αυξανόμενη χρήση της στον προσδιορισμό φυσικών τοξικών ουσιών και μικρορυπαντών.

γ. Η φασματομετρία μαζών, έχει τεράστια πρακτική σημασία, εφ'όσον μπορεί να ανιχνεύει τα πάντα, έχει όμως υψηλό κόστος.

### Γ. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ανίχνευση και η μέτρηση της έντασης ραδιενεργούς ακτινοβολίας βασίζεται σχεδόν πάντα στον ιονισμό της ύλης, τον οποίο προκαλεί η πυρηνική ακτινοβολία. Η γενική αρχή λειτουργίας των μετρητών και ανιχνευτών του είδους αυτού στηρίζεται σε δύο ηλεκτρόδια με αντίθετη πολικότητα που συλλέγουν τα σχηματιζόμενα ιόντα. Μεταξύ των ηλεκτροδίων προκαλείται μια διαφορά δυναμικού που μετράται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα.

#### 1. Ανιχνευτές-μετρητές Geiger-Muller

Ο ανιχνευτής-μετρητής Geiger-Muller είναι ένας "ειδικός" θάλαμος ιονισμού. Αποτελείται από ένα λεπτό γυάλινο σωλήνα γεμάτο αέριο (π.χ. ατμοί αλογόνω), συνήθως σε χαμηλή πίεση. Κατά μήκος του άξονα του σωλήνα υπάρχει λεπτό μεταλλικό νήμα (ηλεκτρόδιο "συλλέκτης"), το οποίο περιβάλλεται από ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο κυλινδρικού ή σπειροειδούς σχήματος. Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 400-1.000 Volt περίπου, ανάλογα με το είδος του μετρητή. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί το κυλινδρικό ηλεκτρόδιο να αποτελεί και τα εξωτερικά τοιχώματα του μετρητή. Στην περίπτωση αυτή, ο κύλινδρος στο κάτω άνοιγμα του έχει λεπτό φύλλο από μίκα (παράθυρο). Οι μετρητές G.M. δεν μετρούν απόλυτη τιμή ενέργειας, αλλά απλά ανιχνεύουν την παρουσία σωματιδίων

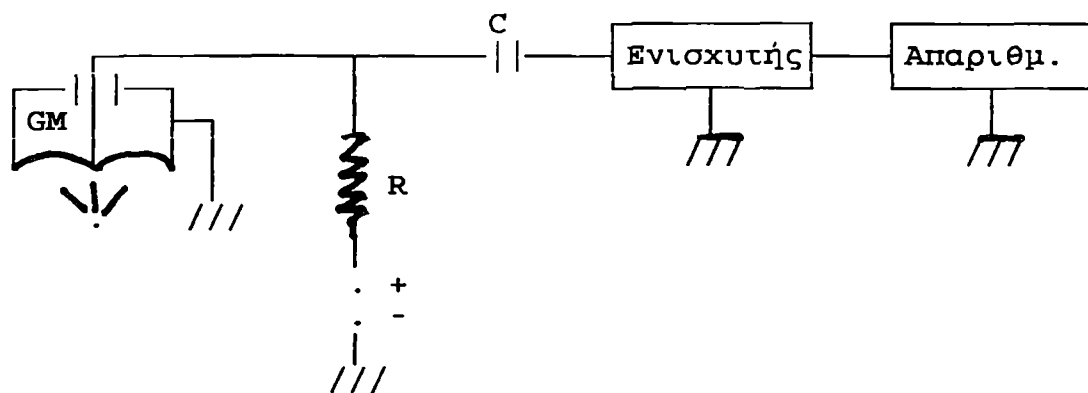
(συνήθως β) ή την ακτινοβολία γ.

## 2. Τρόπος λειτουργίας

Επειδή οι διαστάσεις του θαλάμου είναι μικρές και η διάμετρος του ηλεκτροδίου "συλλέκτη" (που αποτελεί την άνοδο) είναι μικρή, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κοντά στην άνοδο είναι αρκετά υψηλή (της τάξεως 60.000 V/cm).

Όταν λοιπόν από το σωλήνα διέλθει σωματιδιακή ακτινοβολία ή ακτινοβολία που προκαλεί ιονισμό, τότε δημιουργούνται ιόντα, τα οποία κατευθύνονται προς τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Κατά την εκφόρτιση των ιόντων διέρχεται από το εξωτερικό του κυκλώματος ρεύμα, το οποίο προκαλεί, με τη βοήθεια μίας αντίστασης της τάξης των  $10^6$  Ohm, πτώση της διαφοράς δυναμικού, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων του μετρητή και έτσι η λειτουργία διακόπτεται, ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται το σήμα. Στη συνέχεια η διαφορά τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων αποκαθίσταται και ο μετρητής είναι σε θέση να επαναλειτουργήσει. Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται, μετά την ανίχνευση ενός σωματιδίου, για να επανέλθει ο μετρητής στην αρχική του κατάσταση και να είναι συνεχώς έτοιμος να επαναλειτουργία καλείται χρόνος παράλυσης.

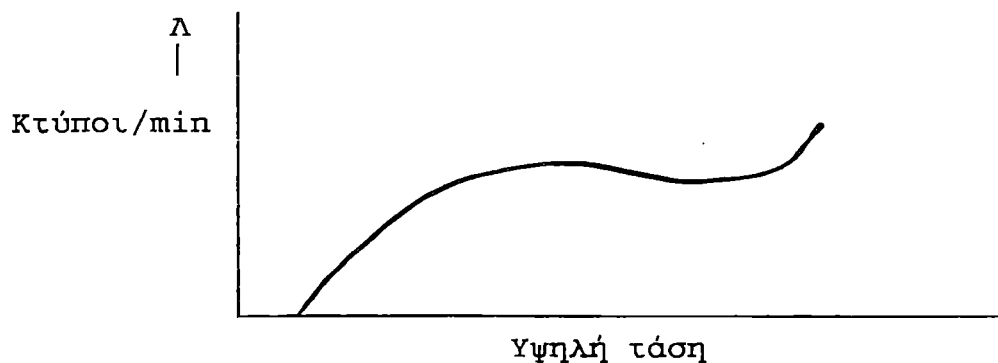
Το τυπικό διάγραμμα συνδεσμολογίας ενός ανιχνευτού G.M. φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:





Για κάθε μετρητή G.M., αναλόγως με την κατασκευή του, υπάρχει μια περιοχή τάσης τροφοδοσίας, η οποία είναι και η καταλληλότερη για τη λειτουργία του μετρητή.

Για τον καθορισμό της περιοχής αυτής καράσσεται η χαρακτηριστική καμπύλη του μετρητή ως εξής: πριν από τον σωλήνα G.M. τοποθετείται μια πρότυπη πηγή ακτινοβολίας. Μεταξύ των ηλεκτροδίων εφαρμόζεται μία καθορισμένη τάση και σημειώνεται ο αριθμός των κτύπων ανά λεπτό που προέρχονται από το μετρητή για τη συγκεκριμένη τάση. Η καμπύλη που προκύπτει έχει τότε την εξής μορφή:



Η περιοχή εκείνη, στην οποία οι ενδείξεις του μετρητή δεν μεταβάλλονται αισθητά με τη μεταβολή της τάσης αποτελεί την καταλληλότερη περιοχή λειτουργίας του μετρητή και χαρακτηρίζεται ως "πλατώ" του μετρητή G.M. Με την πάροδο του χρόνου το "πλατώ" ενός μετρητή παρουσιάζει μεγαλύτερη κλίση, ενώ ταυτόχρονα μικραίνει. Στην περίπτωση αυτή αναφέρεται ότι ο μετρητής "γηράσκει". Η "ζωή" ενός μετρητή είναι της τάξεως των  $10^{10}$  κτύπων ( $10^{10}$  εκφορτίσεις αυτού).

B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

1. "ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ", Δ.Α.Γιαννακου-  
δάκης, Γ.Α.Σταλίδης, Ι.Α.Μουμζής, Θεσσαλονίκη (1977)
2. "ΓΕΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ", Δ.Α.Γιαννακουδάκης, Θεσσαλονίκη (1975)
3. "Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ", Αυγουστίνου Ι.Αναγνωστόπουλου,  
Καθηγητή Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης  
(1985)
4. "ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ", Γ.Β.Ηλιόπουλος-Ι.Σ.Δημόπουλος, Ο.Ξ.Δ.Β.  
Αθήνα (1986)
5. "ECOTOXICOLOGIE", Francois Ramade, Professeur de Zoologie  
et d'Ecologie a l'Universite de Paris-Sud Orsay (1979)