

**BIOSOIL- Ανάπτυξη και αξιοποίηση
μεθόδων εδαφοβελτίωσης με την χρήση
βιοστερεών από Εγκαταστάσεις
Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων και
τεχνικών βιοενίσχυσης στο πλαίσιο της
κυκλικής οικονομίας και της επιστήμης των
πολιτών**

Σωτηρία Παπαδήμου, Γεωπόνος, MSc, Υπ.

Διδάκτορας Εδαφολογίας

Δημήτριος Αλεξιάδης, Γεωπόνος, MSc

Δρ. Βασιλική Λιάβα, Γεωπόνος, MSc, Διδάκτορας
Ζιζανιολογίας

Ευαγγελία Ε. Γκόλια, Αν. Καθηγήτρια ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ
(Χημικός, Γεωπόνος, MSc, Δρ Εδαφολογίας)

egolia@auth.gr

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα μεταλλικά στοιχεία που έχουν ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 ή 6g/cm³

Heavy metals

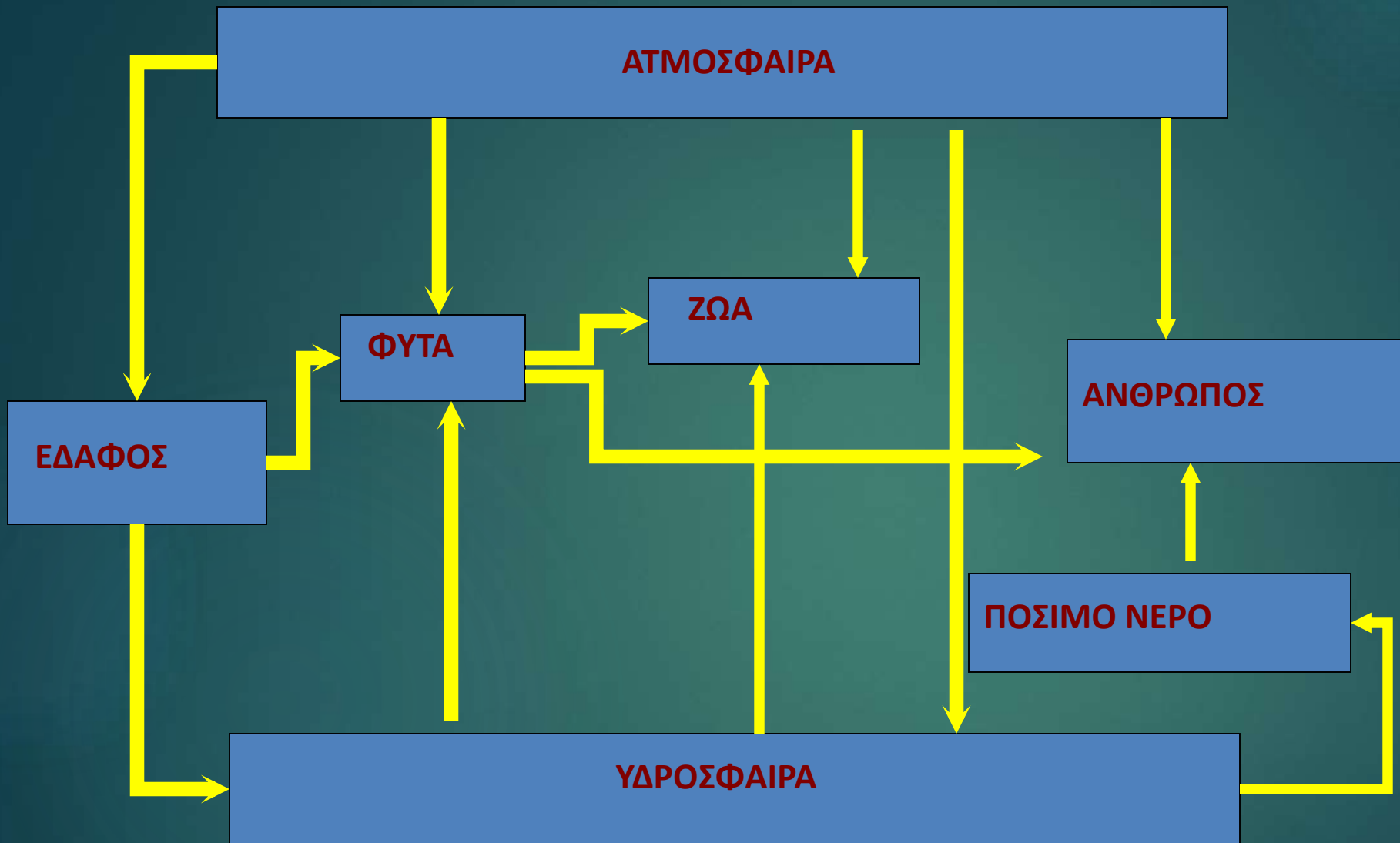
PTE (Potentially Toxic Elements):

ένας νέος όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τις επιβλαβείς ιδιότητες των στοιχείων σε φυτά ή/και σε ζώα, όταν ξεπεράσουν μια κρίσιμη συγκέντρωση.

«Εν δυνάμει τοξικά στοιχεία»

A decorative border featuring a skull at the top center, with ornate scrollwork and flourishes extending downwards and outwards to frame the text.

**HEAVY
FUCKING
METAL**



Τρόποι μετακίνησης βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον (Alloway, 2001)

Ρύπανση με Πιθανά Τοξικά Στοιχεία (ΠΤΣ)

ΠΤΣ

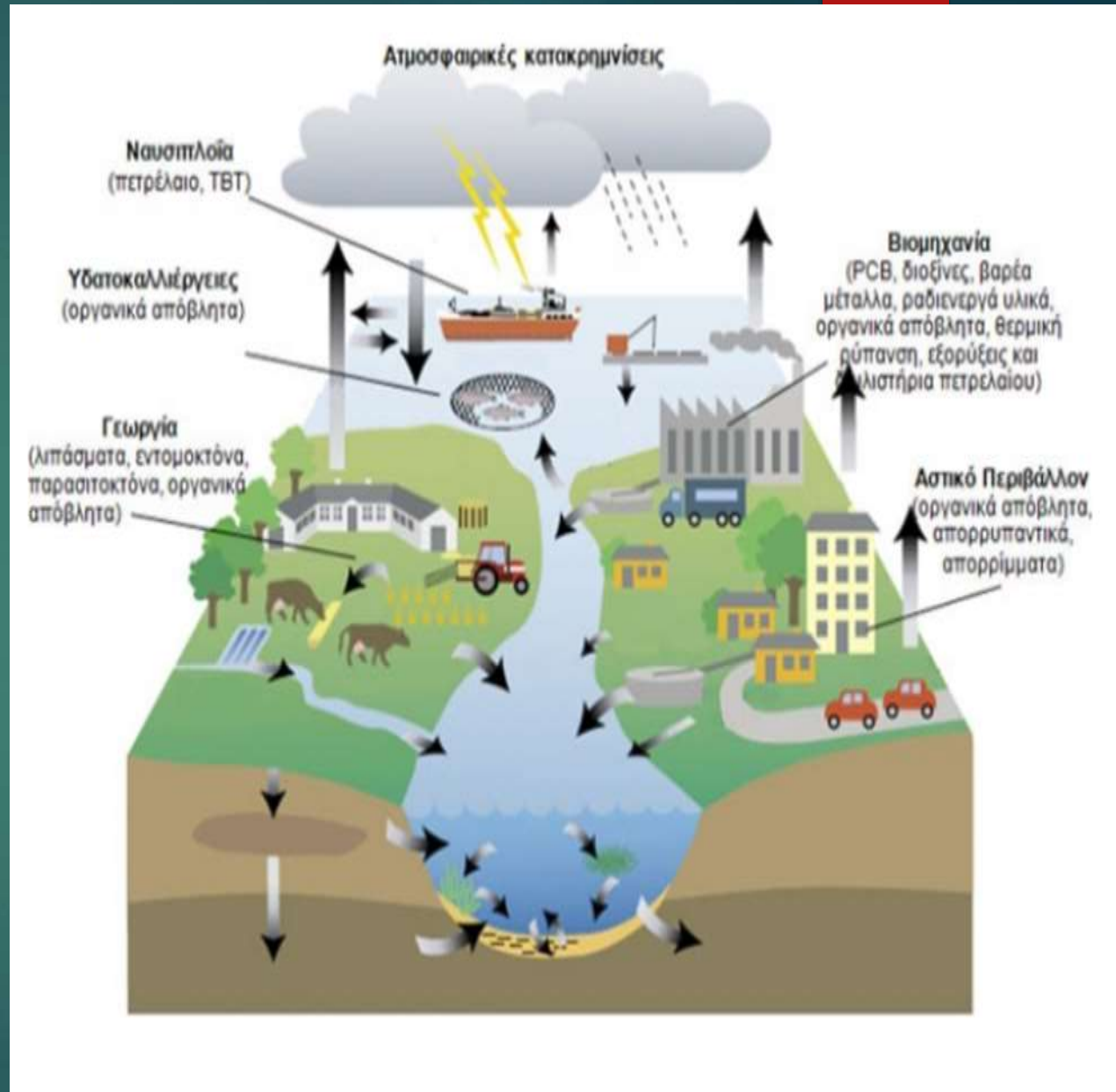
- Παγκόσμιο Περιβαλλοντικό Πρόβλημα
- Οφείλουν την παρουσία τους σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες

Λόγοι

- Είναι μη βιο-αποικοδομήσιμοι ρύποι
- Έχουν μεγάλο χρόνο ημιζωής

Απειλή

- Για το οικοσύστημα και την ανθρώπινη υγεία
- Είσοδος στην τροφική αλυσίδα



Μικροθρεπτικά στοιχεία ή ιχνοστοιχεία: Είναι τα στοιχεία (μεταλλικά, μεταλλοειδή και αμέταλλα) τα οποία σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία των ζωντανών οργανισμών.

Για τους φυτικούς οργανισμούς: Zn, Cu, Mn, Fe, Co, Mo, B και Cl.

Για τους ζωικούς οργανισμούς: Co, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo, Ni, Cr, Sn, Se.

Στοιχεία που έχουν τοξική δράση στους ζωικούς οργανισμούς:

Pb, Cd, Hg, Ag, As, Al, Tl, Te, Sb, Zn, Cu, Mn, B, Cl.

Πηγές βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Τα ορυκτά και τα μητρικά πετρώματα που υπάρχουν στο έδαφος

Η χρήση λιπασμάτων, παρασιτοκτόνων, μυκητοκτόνων, εντομοκτόνων

Η χρήση λάσπης που προέρχεται από το βιολογικό καθαρισμό βιομηχανιών ή πόλεων

Η καύση φυσικών και συνθετικών καυσίμων

Πηγές βαρέων μετάλλων (Συνέχεια)

Η λειτουργία χημικών βιομηχανιών, βιομηχανιών επιμετάλλωσης και χρωμάτων

Η απόθεση αποβλήτων και απορριμμάτων αστικών και μη περιοχών

Η χρήση πυρομαχικών σε περιόδους πολέμου, αλλά και σε περιπτώσεις στρατιωτικών ασκήσεων

Η ενεργοποίηση ηφαιστειακών δραστηριοτήτων

Τα πυρηνικά ατυχήματα

Περιεκτικότητα των διαφόρων λιπασμάτων σε βαρέα μέταλλα

Λίπασμα	Περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα ($\mu\text{g g}^{-1}$ λιπάσματος)							
	Co	Cd	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,1	0	0-10	0-5	-	-	-	1
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	<0,5	<5	0-800	0-80	<0,05- 0,22	<5	0-200	0-800
Υπερ- φωσφορικό	0,02-13	0- 1000	0- 1000	0-2842	0-35	0-32	0-92	70- 300
KCl	1	-	0-10	0-8	0,05-0,5	<1	<1	0-3
K_2SO_4	<5	<5	0-300	0-80	0,09-33	<5	<50	<50
Κοπριά	0,03-6	-	0,2- 62	11-650	0,02- 15,8	11	-	4-360

Επίδραση βαρέων μετάλλων σε φυτά και ζώα

Στοιχείο	Χρήσιμο ή απαραίτητο		Τοξικό		Παρατηρήσεις
	Φυτά	Ζώα	Φυτά	Ζώα	
Ag	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Αντιδρά με το Se και το Cu
As	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ιδιαίτερα τοξικό. Ίσως και καρκινογόνο.
B	Ναι	Όχι	Ναι		Σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικό στα φυτά.
Ba	Όχι	Πιθανώς			Αδιάλυτο. Σχετικά μη τοξικό.
Be	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Καρκινογενές.
Bi	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Σχετικά μη τοξικό.
Cd	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Καρκινογενές. Ιδιαίτερα επικίνδυνο.
Co	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Σχετικά μη τοξικό. Καρκινογενές σε μεγάλες ποσότητες.
Cr	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Το ιόν Cr ⁶⁺ ιδιαίτερα τοξικό.

Στοιχείο	Χρήσιμο ή απαραίτητο Φυτά Ζώα		Τοξικό Φυτά Ζώα		Παρατηρήσεις
Cu	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικό στα φυτά.
F	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Είναι τοξικό στα φυτά.
Hg	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Εισέρχεται στην τροφική αλυσίδα. Προκαλεί την ασθένεια minamata.
Mn	Ναι	Ναι	< pH=5		Τοξικό σε όξινα εδάφη.
Ni	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Σχετικά μη τοξικό. Καρκινογενές σε μεγάλες ποσότητες.
Pb	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Συσσωρεύεται επιφανειακά. Είναι δηλητηριώδες.
Zn	Ναι	Ναι			Σχετικά μη τοξικό.



Κάδμιο: τοξικό και επικίνδυνο.

χρήσεις –πηγές:

λιπάσματα, μπαταρίες, συσσωρευτές,
επιμεταλλώσεις, χρώματα, PVC
(σταθεροποιητής).

Δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου:

Συσσωρεύεται στο συκώτι, στα νεφρά, στο σπλήνα και στο θυροειδή αδέννα.

Αντικαθιστά το ασβέστιο των οστών (Ασθένεια Itai-Itai, 1947)



Ψευδάργυρος: Στοιχείο Τοξικό

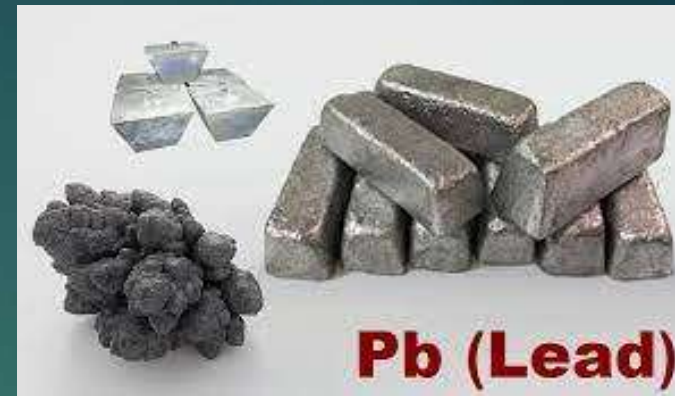
Αναστέλλει τη λειτουργία των ενζύμων-
βιοκαταλυτών.

(Σε φυτά και ζώα)

Στον άνθρωπο σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να
προκαλέσει καρκίνο στα **νεφρά** και στον **εγκέφαλο**.

Μόλυβδος: Στοιχείο επικίνδυνο

Προκαλεί εγκεφαλικές βλάβες



Ιστορικά αναφέρεται ότι ένας από τους λόγους κατάρρευσης της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας ήταν η χρήση μολύβδινων δοχείων για το νερό και το κρασί.

Παλαιότερα οι ενώσεις του χρησιμοποιήθηκαν ως αντικροτικά στη βενζίνη.

Εμποδίζει τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης.

Τα μικρά παιδιά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο μόλυβδο



Αρσενικό: Ιδιαίτερα τοξικό.

Πήρε το όνομά του από την ιδιότητά του να προκαλεί το θάνατο ακόμη και στους άρρενες (άρρην-νικώ)

Χρήσεις:

για γεωργικούς σκοπούς, για τη συντήρηση του ξύλου, των δερμάτων, των εκθεμάτων των ζωολογικών μουσείων κ.α.

Δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου:

Συσσωρεύεται στο συκώτι, στα νεφρά και στους πνεύμονες, όπου προκαλεί καρκίνο.

Συλλογή δειγμάτων

Χημικές Αναλύσεις
ποσοτικού
προσδιορισμού
μεταλλικών στοιχείων



Περιληπτικά έχουν γίνει:

1) Από 2 δειγματοληψίες από τις Εταιρείες Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ), Κοζάνης και Μηχανιώνας

1η Δειγματοληψία: χειμερινούς μήνες 2023 .

2η Δειγματοληψία: καλοκαίρι 2024 (όλα μαζί τον Σεπτέμβριο του 2024)

2) Από τις δειγματοληψίες πάρθηκε ιλύς από τους Βιολογικούς Καθαρισμούς (βιοστερεά) δοκιμάστηκαν οι εκπλύσεις τους.

3) Προσδιορίστηκαν: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg και Cr τόσο στα βιοστερεά, όσο και στις εκπλύσεις αυτών που μας είχαν δοθεί.

4) Στην 1η δειγματοληψία δεν μας δόθηκε η έκπλυση του βιοστερεού από την Κοζάνη.

5) Οι υψηλότερες τιμές των ΒΜ εντοπίστηκαν στα δείγματα της ΕΥΑΘ και στις δύο δειγματοληψίες που ήταν κάτω από τα ανώτερα επιτρεπτά όρια.

Προσδιορισμός ολικών ποσοτήτων βαρέων μετάλλων

Εκχύλιση Βαρέων Μετάλλων που είναι διαλυτά σε Βασιλικό Νερό (Aqua Regia) (Μίγμα HCl - HNO_3 σε αναλογία 3:1) (ISO/DIS 11466)

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να εκχυλιστούν βαρέα μέταλλα από εδάφη και άλλα παρόμοια υλικά, τα οποία έχουν κατάλληλα προετοιμαστεί και περιέχουν λιγότερο από 20% οργανικό άνθρακα.



Υλικά τα οποία περιέχουν περισσότερο από 20% οργανικό άνθρακα χρειάζονται προκατεργασία με μεγαλύτερη ποσότητα HNO_3 .

Το εκχύλισμα που παραλαμβάνεται με την μέθοδο αυτή είναι κατάλληλο για τον προσδιορισμό βαρέων μετάλλων με την μέθοδο της Ατομικής Απορρόφησης.

Πέψη σε αυτόκλειστο με πίεση

Για την πέψη των εδαφικών δειγμάτων με το μίγμα του βασιλικού νερού χρησιμοποιήθηκε δοχείο το οποίο είναι κατασκευασμένο από τεφλόν. Αρχικά ζυγίστηκε 1 g εδαφικού δείγματος σε καθένα από τα δοχεία και έγινε προσθήκη του μίγματος aqua regia.

Το δοχείο κλείνει ερμητικά και το πάνω μέρος του αποτελείται από δυο κυλινδρικά δοχεία, το ένα μέσα στο άλλο, ώστε οι ατμοί που εξέρχονται από το κάτω μέρος κατά τη διάρκεια της πέψης, να υγροποιούνται και να εισέρχονται και πάλι στο κάτω δοχείο.

Το κάθε δοχείο τοποθετείται σε ειδική συσκευή 24 θέσεων προκειμένου να γίνει η πέψη και ακολουθείται ειδικό πρόγραμμα θέρμανσης συνολικής διάρκειας 4,5 ωρών. Έπειτα, έγινε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL και συμπλήρωση του όγκου με προσθήκη H₂O μέχρι τη χαραγή και τέλος μετάγγιση σε πλαστικά αποστειρωμένα φιαλίδια των 50 mL.



Εικόνα 3. Συσκευή θέρμανσης για ατομικές βόμβες εκχύλισης ECO-PRE, ODLAB.

Ο μύλος που χρησιμοποιήθηκε για την άλεση των εδαφικών δειγμάτων ήταν του Οίκου Gerhard.

Ο μύλος δεν επιβάρυνε τα εδαφικά δείγματα με ποσότητες μετάλλων, γιατί στο εσωτερικό του δεν υπήρχαν μεταλλικά σημεία. Ήταν κατασκευασμένος από ζirkόνιο και πορσελάνη.

Το δείγμα εδάφους στο εσωτερικό του μύλου άλεσης, τοποθετούνταν σε ειδικό δοχείο με τοιχώματα από πορσελάνη. Μέσα σε αυτό το δοχείο υπήρχαν ειδικά σφαιρίδια επίσης από πορσελάνη με τη βοήθεια των οποίων το εδαφικό δείγμα αλέθονταν.

Τα μικρά σφαιρίδια ήταν πέντε σε αριθμό και με ρύθμιση του μύλου άλεσης για άλεση με ταχύτητα των 1250 στροφών/min, μέσα σε χρονικό διάστημα 2 λεπτών άλεθαν το εδαφικό δείγμα σε μορφή πούδρας.





Κλειστό σύστημα πέψης του Οίκου Gerhardt



Εικόνα 1. Διαδικασία εκχύλισης των δειγμάτων σε ογκομετρικές φιάλες.



Εικόνα 2. Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (AAS) με τεχνικές φλόγας Shimadzu, AA-6300.



Εξάρτημα φλόγας (Flame AAS)
(Shimadzu AA 6300)



Εξάρτημα φούρνου γραφίτη (GF-AAS)
(Shimadzu AA 7000)



Η ευαισθησία αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση του στοιχείου σε mg L^{-1} η οποία αντιστοιχεί σε απορρόφηση 1% ($A=0,0044$).

Το όριο ανίχνευσης υπολογίστηκε ως η συγκέντρωση του μετάλλου που αντιστοιχεί στη μικρότερη ένδειξη που οφείλεται στην παρουσία του μετάλλου στο δείγμα και όχι στο υπόβαθρο του σήματος. Η ένδειξη αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$A_{\text{min}} = A_y + 3 S_y$$

Όπου A_y είναι ο μέσος όρος των ενδείξεων του λευκού δείγματος και
 S_y : η τυπική απόκλιση των ενδείξεων αυτών.



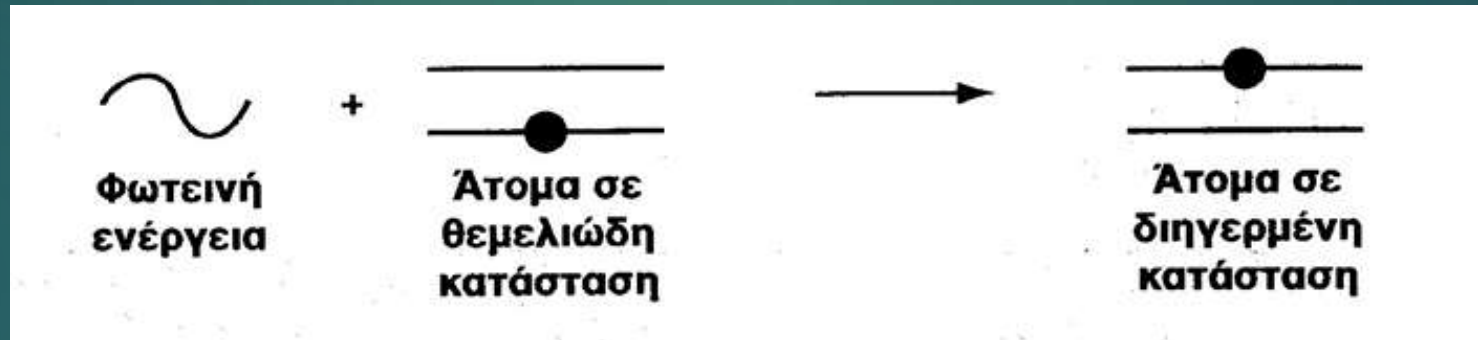
Lumina Lamp with Intensitron® Adapter Cable for use with Models SIMAA 6000, 5100 (PC), 4110 ZL, 4100, 4100 ZL, 3300, 2100 and 1100(B).



Αρχές φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης

Η μέθοδος της Ατομικής Απορρόφησης **είναι μια τεχνική προσδιορισμού διαφόρων στοιχείων βασισμένη στα ατομικά φάσματα των στοιχείων αυτών.**

Παρατηρείται απορρόφηση κατάλληλης εξωτερικής ακτινοβολίας από τα άτομα που βρίσκονται σε θεμελιώδη κατάσταση και μετάβαση αυτών σε διεγερμένη, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα :



Η συγκέντρωση του στοιχείου που προσδιορίζεται είναι ανάλογη της ενέργειας που απορροφά το στοιχείο για να μεταβεί από τη βασική στη διεγερμένη κατάσταση και αντίστροφα.

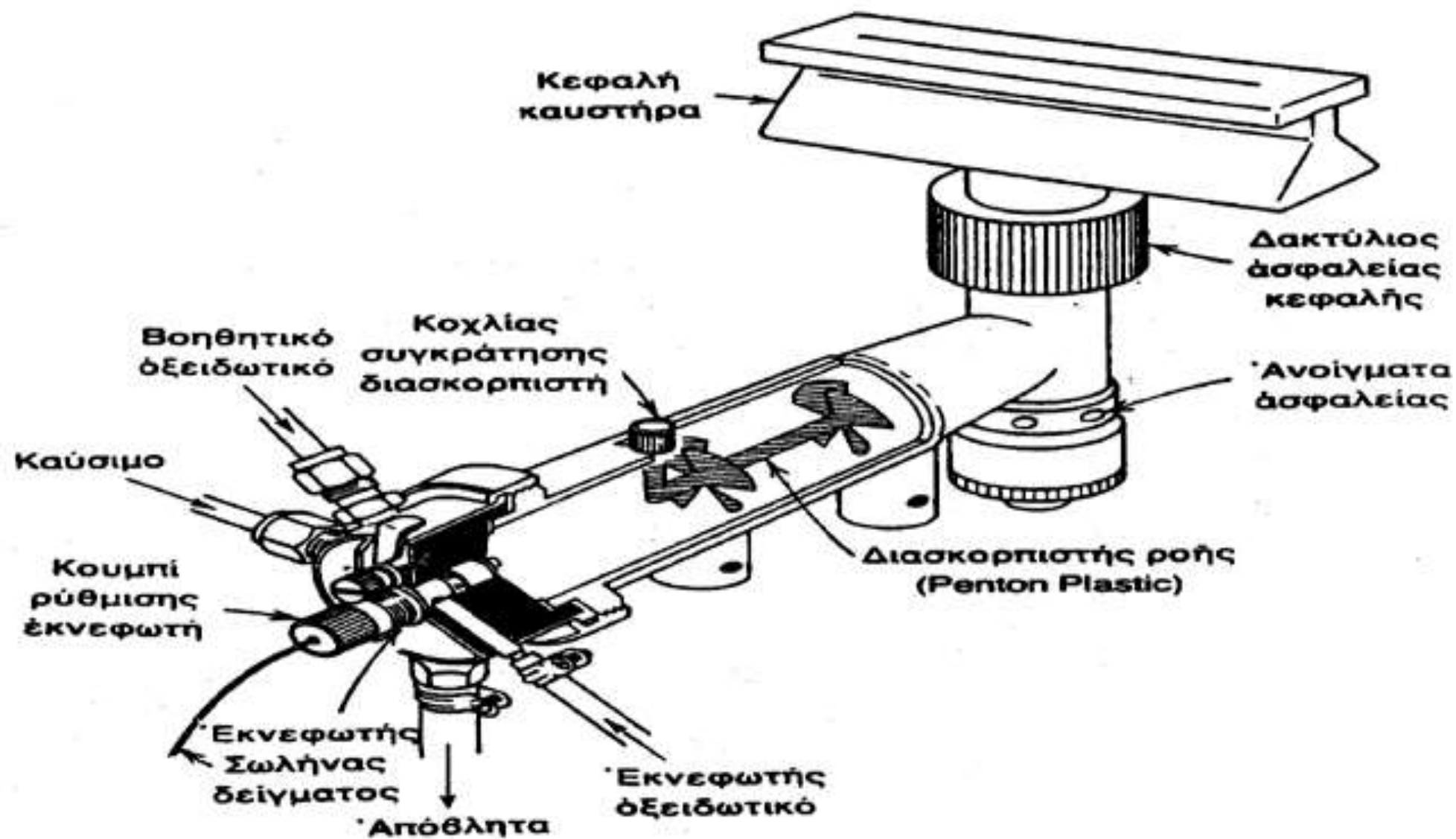
Τα όργανα της ατομικής απορρόφησης γενικά περιλαμβάνουν τα εξής μέρη :

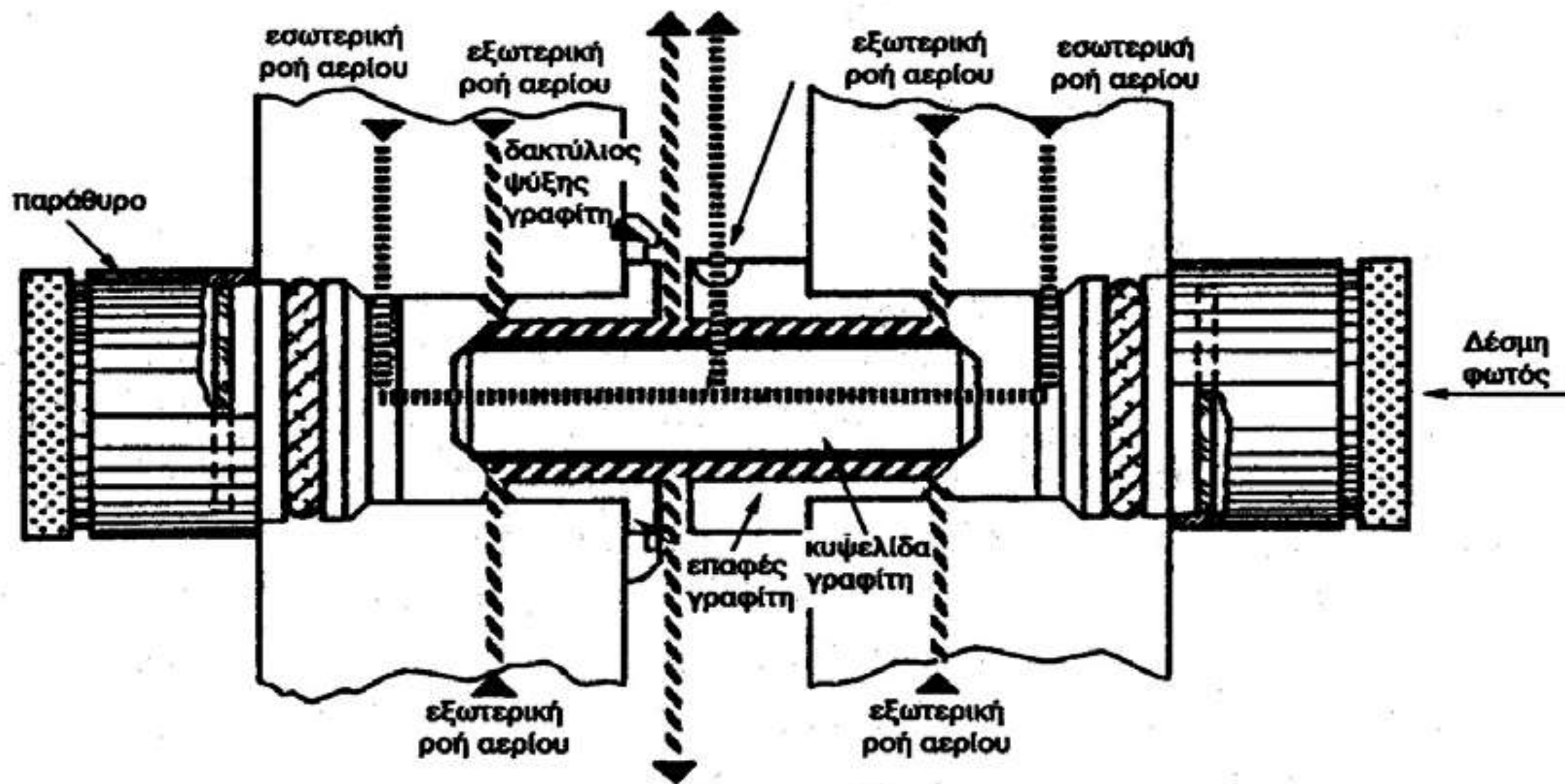
- Το σύστημα εκπομπής ακτινοβολίας (λυχνίες).
- Το σύστημα ατομοποίησης (ψεκαστήρας- λύχνος-φλόγα).
- Το οπτικό σύστημα (φίλτρα- μονοχρωμάτορες).
- Το φωτομετρικό σύστημα (φωτοανιχνευτές- ενισχυτές-ποτενσιόμετρο).

Το σπουδαιότερο τμήμα είναι το τμήμα στο οποίο το δείγμα , αφού έχει διαλυτοποιηθεί, πρέπει να μετατραπεί σε νέφος ατόμων.

Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ατομοποίηση και είναι υπεύθυνη για την ευαισθησία και την επαναληψιμότητα της μεθόδου.

Όταν το διάλυμα του δείγματος με μορφή μικρών σταγονιδίων βρεθεί σε υψηλή θερμοκρασία, αρχικά παρατηρείται εξάτμιση του διαλύτη αφήνοντας σωματίδια άλατος και στην συνέχεια ένα μέρος από αυτά διασπώνται σε ελεύθερα άτομα. Επομένως, απαιτείται υψηλή θερμική ενέργεια, η οποία μπορεί να επιτευχθεί είτε από την καύση μίγματος αερίων (ατομική απορρόφηση φλόγας), είτε από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (ατομική απορρόφηση θερμαινόμενου γραφίτη).

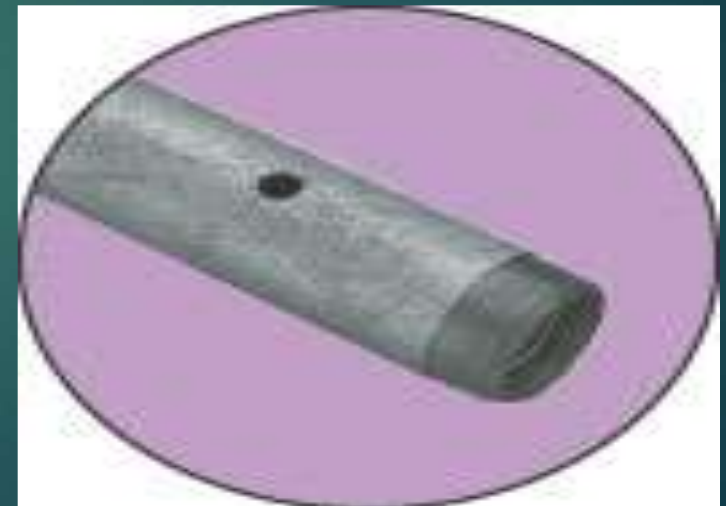




Για τον προσδιορισμό των στοιχείων Cd και Pb χρησιμοποιήθηκε εξάρτημα θερμαινόμενου φούρνου γραφίτη (HGA 600) με διορθωτή θορύβου λυχνία δευτερίου και αυτόματο αναλυτή 40 θέσεων (AS 60). Η εισαγωγή του δείγματος στο γραφίτη γίνονταν αυτόματα με μικροπιπέτα από πολυπροπυλένιο.

Ο σωλήνας γραφίτη βρίσκεται μέσα στην οπτική διαδρομή της ακτινοβολίας και είναι ένας κύλινδρος με ανοικτά τα δύο άκρα.

Ο σωλήνας συγκρατείται μεταξύ δύο μεγάλων δακτυλίων από γραφίτη που αποτελούν τις ηλεκτρικές επαφές, οπότε ο σωλήνας παίζει το ρόλο της ηλεκτρικής αντίστασης σε ένα κύκλωμα. Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρική τάση και περάσει ρεύμα υψηλής έντασης, αυξάνεται η θερμοκρασία του σωλήνα που μπορεί να ξεπεράσει τους 3000ο C.



Προσδιορισμός του Hg με τη μέθοδο Cold Vapor Atomic Absorption

Έχουν αναπτυχθεί **εναλλακτικές τεχνικές ατμοποίησης** για τον προσδιορισμό του υδραργύρου, **λόγω της σχετικά χαμηλής ευαισθησίας** που παρέχουν οι παραδοσιακές φλόγες ατομικής απορρόφησης για τον υδράργυρο.

Δεν συνιστώνται μέθοδοι φλόγας, λόγω της ακραίας **πτητικότητας** του υδραργύρου, ο οποίος έχει σημαντική πίεση ατμών ακόμη και σε θερμοκρασία δωματίου.

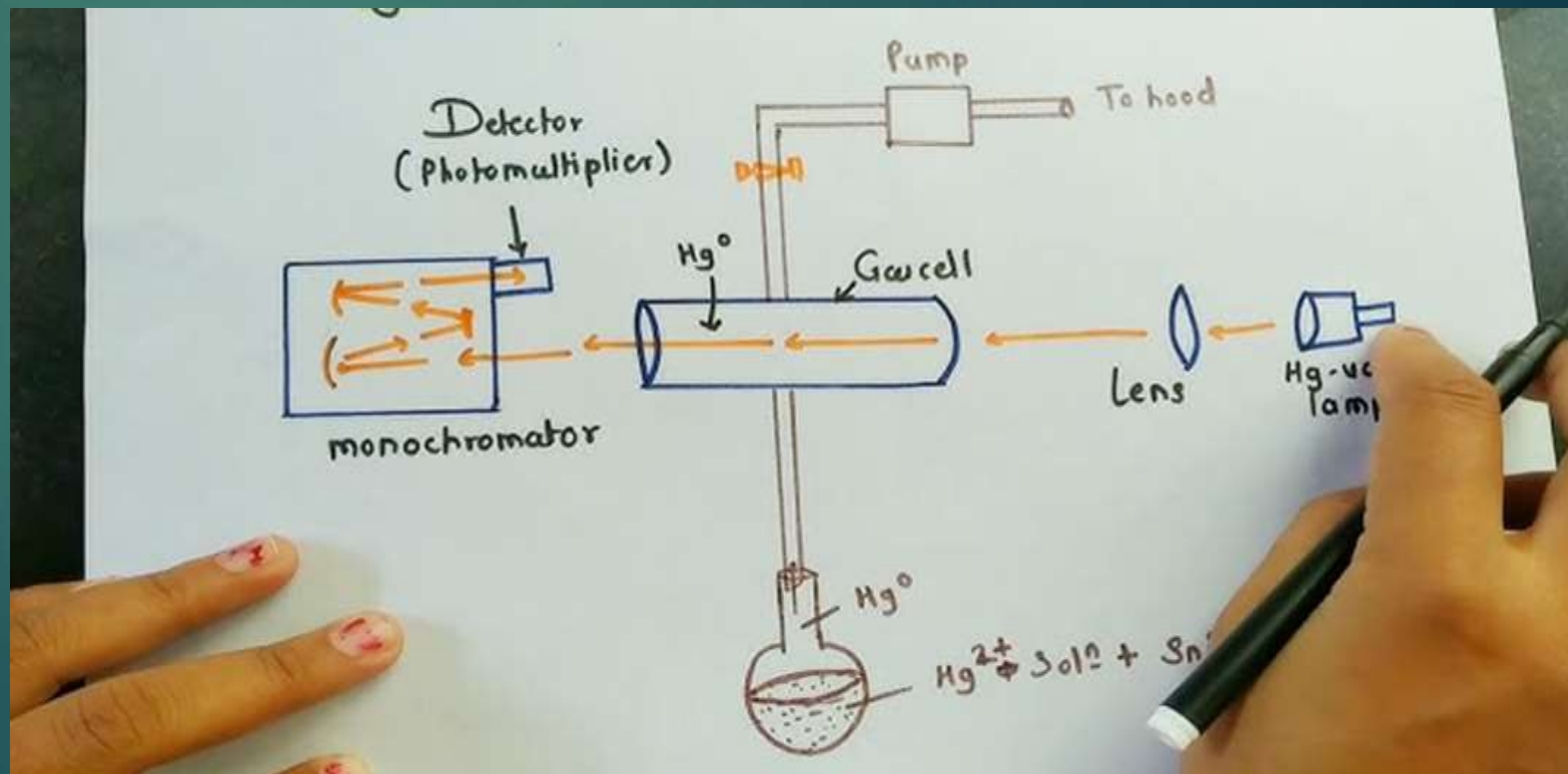
Η τεχνική ατομικής απορρόφησης ψυχρών ατμών για τον υδράργυρο έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή.

Στη μέθοδο αυτή, ένα όξινο διάλυμα που περιέχει υδράργυρο αντιδρά με χλωριούχο άλας σε δοχείο εκτός του οργάνου ΑΑ. Παράγονται άτομα υδραργύρου τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται με ροή αέρα ή αδρανούς αερίου σε κυψελίδα απορρόφησης εγκατεστημένη στο όργανο ΑΑ.

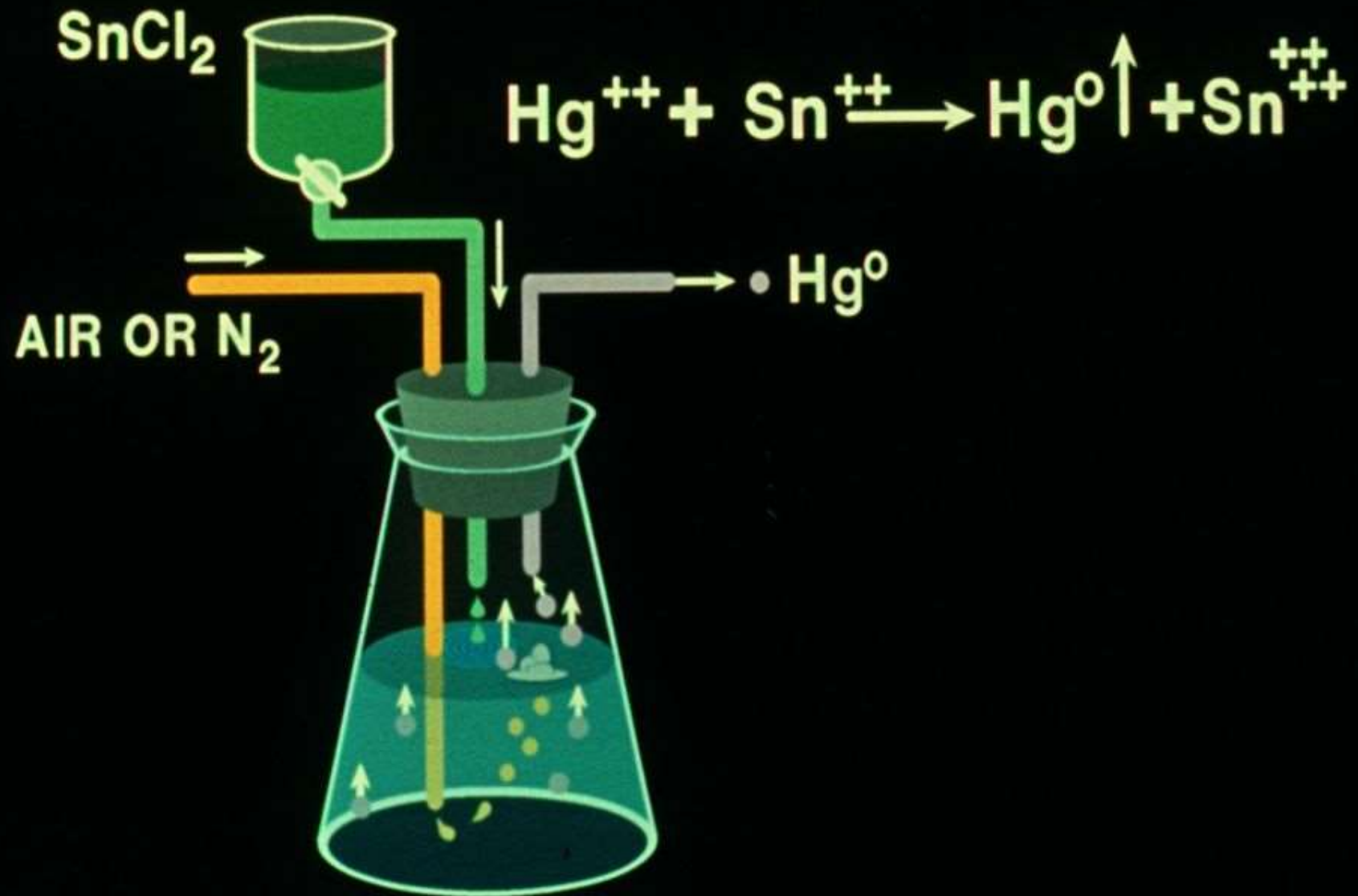
Η μέθοδος αυτή παρέχει ευαισθησίες περίπου τεσσάρων τάξεων μεγέθους καλύτερες από τη φλόγα ΑΑ.

Η ΕΡΑ των ΗΠΑ έχει θέσει όριο για τον υδράργυρο στο πόσιμο νερό 2 $\mu\text{g/L}$ ή 2 ppb.

Η τεχνική των ψυχρών ατμών είναι η μόνη ΕΡΑ εγκεκριμένη μέθοδος για τον προσδιορισμό του υδραργύρου σε αυτό το επίπεδο



COLD MERCURY VAPOR TECHNIQUE



Με τη μέθοδο cold vapor, Ο υδράργυρος μπορεί να προσδιοριστεί σε χαμηλά επίπεδα $\mu\text{g/L}$ και υπο- $\mu\text{g/L}$ συγκεντρώσεων με ακρίβεια .

Η συγκέντρωση οξέος στα πρότυπα και τα δείγματα πρέπει να είναι 10-20% κατ' όγκο HCl ή HNO_3 για καλύτερα αποτελέσματα.

Ο οργανικά δεσμευμένος υδράργυρος μπορεί να ανακτηθεί επαρκώς μόνο μετά από όξινη πέψη του δείγματος.

Προκειμένου να ληφθούν ακριβή αποτελέσματα, η προετοιμασία του δείγματος και η διαδικασία ανάλυσης πρέπει να είναι ακριβώς οι ίδιες και για τα δύο πρότυπα και τα δείγματα.





Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Δείγμα Βιολογικού Καθαρισμού	Cd (mg/kg DM)	Εκπλύσεις Cd (mg/kg DM)	Cu (mg/kg DM)	Εκπλύσεις Cu (mg/kg DM)	Ni (mg/kg DM)	Εκπλύσεις Ni (mg/kg DM)
Κοζάνης		Δεν είχαμε δείγμα εκπλύσεων		Δεν είχαμε δείγμα εκπλύσεων		Δεν είχαμε δείγμα εκπλύσεων
Επανάληψη 1	0.084		29.59		6.306	
Επανάληψη 2	0.075		30.93		5.773	
Επανάληψη 3	0.039		33.59		4.246	
Μέσος Όρος	0.066		31.37		5.442	
Τυπική Απόκλιση	0.02		2.04		1.07	
ΕΥΑΘ						
Επανάληψη 1	0.495	<0.002	77.31	0.312	12.95	0.681
Επανάληψη 2	0.473	<0.002	74.67	0.427	12.97	0.654
Επανάληψη 3	0.471	<0.002	71.58	0.387	12.54	0.710
Μέσος Όρος	0.479		74.52	0.375	12.82	0.682
Τυπική Απόκλιση	0.01		2.87	0.06	0.24	0.03
Μηχανίωνα						
Επανάληψη 1	0.047	<0.002	27.09	<0.1	4.070	0.251
Επανάληψη 2	0.129	<0.002	22.89	<0.1	3.408	0.398
Επανάληψη 3	0.039	<0.002	28.32	<0.1	4.119	0.285
Μέσος Όρος	0.072		26.10		3.866	0.311
Τυπική Απόκλιση	0.05		2.84		0.40	0.08

ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ
ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΗΝ ΙΛΥ
ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΗ
ΓΕΩΡΓΙΑ

(mg/kg ξηράς ουσίας)20 - 401000 - 1750300 - 400

ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ
ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ
ΕΔΑΦΟΣ (mg/kg ξηράς ουσίας
αντιπροσωπευτικού δείγματος)