

ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ:

ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα

του Ευθ. Λ. Λέκκα

Επίκουρου Καθηγητή Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Η διαχείριση των αποβλήτων συνιστά πρόβλημα προς επίλυση που την κρισιμότητα και επικαιρότητά του μάλλον παραβλέπουμε. Ο Umberto Eco προσφέρει μια αιτιολογία της αντιμετώπισης αυτής: «Ο αιώνας έχει στρες γιατί δεν ξέρει από τι πρέπει να αμυνθεί ούτε πώς:

Είμαστε πολύ ισχυροί για να μπορούμε να αποφύγουμε τους εχθρούς μας. Βρήκαμε τρόπο να εξαφανίσουμε τη βρωμιά, δε μπορούμε όμως να εξαφανίσουμε τα σκουπίδια. Γιατί η βρωμιά γεννιόταν από τη φτώχεια, η οποία μπορούσε να μειωθεί· ενώ τα σκουπίδια (όπως και τα ραδιενεργά απόβλητα) γεννιούνται από την καλοπέραση, την οποία κανείς δεν θέλει να μειώσει. Να γιατί ο αιώνας μας υπήρξε επίσης ο αιώνας του άγχους και της ουτοπίας της θεραπείας του...»

Με το σχετικό άρθρο που παρατίθεται ελπίζουμε να ανιχνευθεί μία εστία που απαιτεί την προσέλκυση της προσοχής και της ευαισθησίας στην εποχή αυτή του εμφράγματος...

Κ. Ευταξίας

Η άποψη ότι με την τεράστια τεχνολογική πρόοδο είναι δυνατό να διαχειρισθούμε ένα απεριόριστο ποσό απορριμμάτων και να το διατηρήσουμε για πάντα έξω από την ανθρώπινη σφαίρα της ζωής, είναι πλέον ουτοπία. Αν και ένα τέτοιο σχέδιο διάθεσης απορριμμάτων μπορεί κάποια μέρα να πραγματοποιηθεί, δε φαίνεται δυνατό να αρχίσει στο προσεχές μέλλον. Κατά τη διάρκεια του πρώτου αιώνα της βιομηχανικής επανάστασης, ο όγκος των παραγομένων απορριμμάτων ήταν σχετικά μικρός και η έννοια της “**αραίωσης και διασκόρπισης**” ήταν επαρκής. Οι πρώτες βιομηχανίες βρίσκονταν κοντά σε ποταμούς και θάλασσες, γιατί (i) ήταν εύκολη η μετακίνηση των υλικών με πλοία, (ii) υπήρχε επαρκής ποσότητα νερού για επεξεργασία και (iii) ήταν εύκολη η διάθεση των απορριμμάτων μέσα στο υγρό στοιχείο. Με λίγες βιομηχανίες και αραιό πληθυσμό, η έννοια της “**αραίωσης και διασκόρπισης**” φαινόταν ότι δε θα δημιουργούσε προβλήματα στο περιβάλλον.

Δυστυχώς καθώς οι βιομηχανικές και

αστικές περιοχές επεκτάθηκαν η έννοια της “**αραίωσης και διασκόρπισης**” κατέστη ανεπαρκής και μια νέα έννοια, γνωστή σαν “**συγκέντρωση και συγκράτηση**” έγινε δημοφιλής και απαραίτητη χωρίς όμως να είναι πάντα επιτυχής. Φυσικές ή τεχνητές δεξαμενές μπορεί να υποστούν διαρροή ή να καταστραφούν επιτρέποντας έτσι στα απόβλητα να διαφύγουν. Το αποτέλεσμα ήταν να αναπτυχθεί η “**ανάκτηση πρώτων υλών**”. Η φιλοσοφία, αυτή δέχεται ότι τα απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε χρήσιμα υλικά, και στην περίπτωση αυτή δεν είναι πλέον απόβλητα, αλλά πρώτες ύλες.

Όλοι οι τύποι των κοινωνιών παράγουν απορρίμματα, αλλά η βιομηχανοποίηση και αστικοποίηση προκάλεσαν ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των λυμάτων κάνοντας έτσι πιο σύνθετο το πρόβλημα της διαχείρισής τους. Παρ’όλο που τεράστιες ποσότητες υγρών και στερεών απορριμμάτων από δημοτικές, βιομηχανικές και αγροτικές πηγές έχουν συλλεχθεί, ανακυκλωθεί, επεξεργαστεί ή απομακρυνθεί, νέες επιστημονικές-τεχνολο-

γικές έρευνες πρέπει να γίνουν, για να απομακρυνθεί αυτό που μπορεί να ονομαστεί “**Κρίση Απορριμμάτων**”.

Διαχείριση απορριμμάτων

Η διάθεση των στερεών αποβλήτων είναι κύρια ένα αστικό πρόβλημα. Η μέση επί τοις εκατό σύνθεση στερεών αποβλήτων που καταλήγουν σε μια θέση διάθεσης φαίνεται στον πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1	
Τύποι Απορριμμάτων	Ποσοστό %
Παράγωγα χαρτιού	43.8
Απορρίμματα φαγητού	18.2
Μέταλλα	9.1
Γυαλί και κεραμικά	9.0
Απορρίμματα κήπου	7.9
Πέτρες, ακαθαρσίες και σκόνη	3.7
Πλαστικά, καουτσούκ και δέρμα	3.1
Υφαντουργικά προϊόντα	2.7
Ξύλο	2.5
ΣΥΝΟΛΟ	100.0

Δεν αποτελεί έκπληξη ότι το χαρτί είναι το πιο άφθονο στα στερεά απόβλητα. Πρέπει να τονισθεί ότι τα ποσοστά αυτά είναι μόνο μια μέση κατάσταση και αναμένεται σημαντική διαφοροποίηση της σύνθεσης.

Ποιές είναι οι μέθοδοι διάθεσης των απορριμμάτων;

Επί τόπου (άμεση) διάθεση

Είναι η πιο κοινή μέθοδος άμεσης διάθεσης σε αστικές περιοχές είναι το μηχανικό άλεσμα του υλικού. Οι συσκευές αυτές τοποθετούνται στο σωλήνα αποχέτευσης που ξεκινά από το νεροχύτη της κουζίνας. Τα σκουπίδια αλέθονται και χύνονται στον υπόνομο. Η μέθοδος αυτή ελαττώνει αποτελεσματικά το ποσό των σκουπιδιών και μεταφέρει γρήγορα το υπολείμμα υλικών, αλλά η τελική διάθεση μεταφέρεται στο πρόγραμμα επεξεργασίας των λυμάτων, όπου στερεά υλικά πρέπει να επεξεργαστούν. Επικίνδυνα χημικά υγρά μπορεί επίσης να καταλήξουν κατά λάθος ή επίτηδες στους υπονόμους, οπότε χρειάζονται ειδικά προγράμματα επεξεργασίας τοξικών υλικών.

Πολτοποίηση

Η πολτοποίηση είναι μια βιοχημική διαδικασία, κατά την οποία οργανικά υλικά αποσυντίθενται σε ένα γαιώδες υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βελτιωτικό εδάφους. Είναι γρήγορη και γίνεται με μερική αποσύνθεση υγρών, στερεών και οργανικών αποβλήτων από αερόβιους οργανισμούς. Η διαδικασία αυτή, γενικά, πρέπει να πραγματοποιείται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, από μηχανικούς χωνευτές. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αναγκαιότητα διαχωρισμού του οργανικού υλικού από τα άλλα απόβλητα.

Αποτέφρωση

Αποτέφρωση είναι η διαδικασία καύσης των απορριμμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες (900-1000° C) οπότε και μετατρέπονται σε αδρανή υπολείμματα (στάχτη και άκαυστα υπολείμματα).

Η αποτέφρωση μειώνει σημαντικά τον όγκο των απορριμμάτων σε πολύ μικρό όγκο στάχτης, που μπορεί να διατεθεί σε χωματερή, και δεύτερον, τα απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά σε άλλες καύσιμες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μειονεκτήματα είναι κυρίως οι υψηλές δαπάνες, το υψηλό κόστος συντήρησης και η μόλυνση του αέρα.

Ανοικτοί Σκουπιδότοποι (Χωματερές)

Οι ανοικτοί σκουπιδότοποι αποτελούν την πιο παλιά και κοινή μέθοδο διάθεσης των στερεών αποβλήτων. Αν και τα τελευταία χρόνια, χιλιάδες χωματερές έχουν κλείσει, σε πολλά μέρη του κόσμου χρησιμοποιούνται ακόμα. Σε πολλές περιπτώσεις οι σκουπιδότοποι αυτοί λειτουργούν σε θέσεις, όπου υπάρχει ελεύθερος χώρος, χωρίς να υπολογίζεται η ασφάλεια, ο κίνδυνος της υγείας και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Υγειονομική ταφή

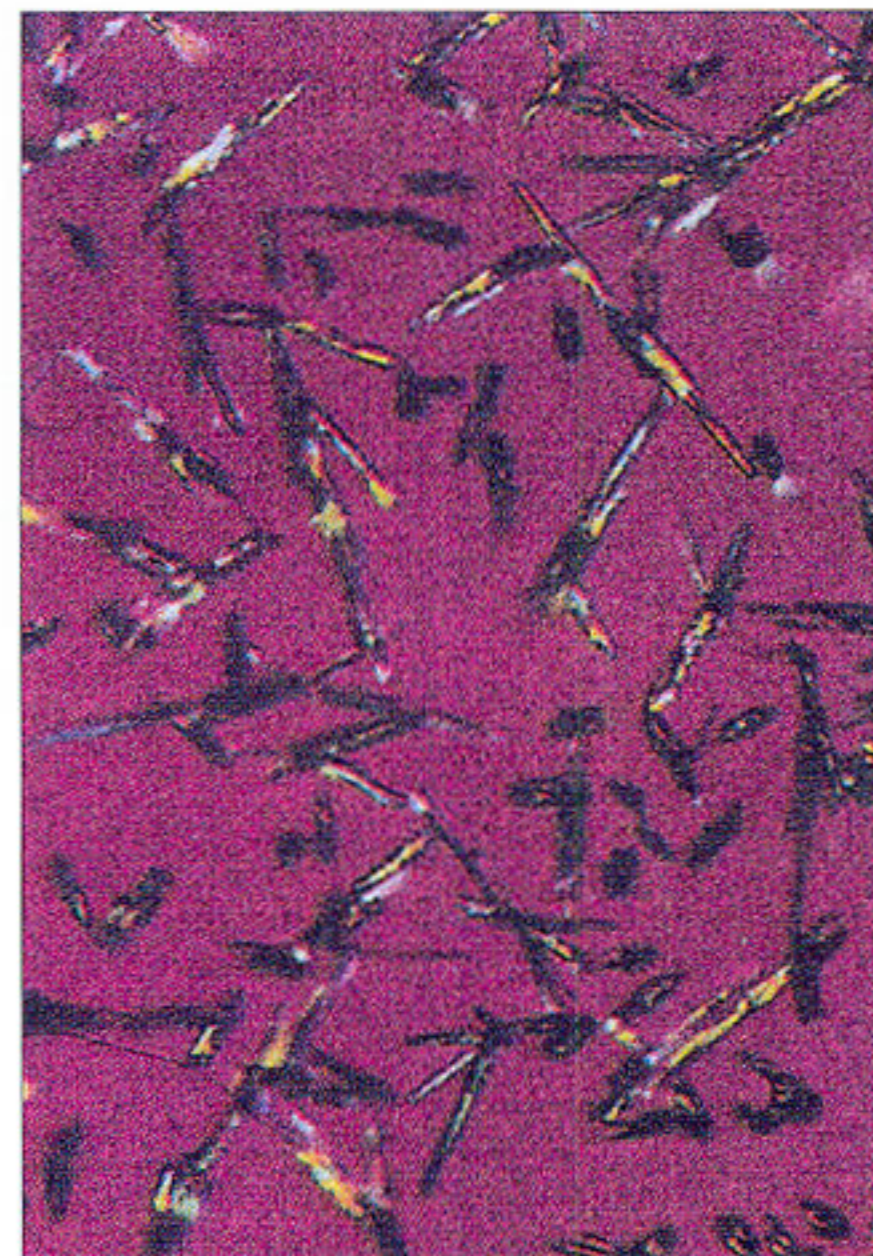
Η υγειονομική ταφή είναι η μέθοδος της διάθεσης στερεών αποβλήτων, που λειτουργεί χωρίς να δημιουργεί κίνδυνο στη δημόσια υγεία. Τα απορρίμματα συμπυκνώνονται από ειδικά μηχανήματα και στη συνέχεια καλύπτονται με ένα στρώμα από συμπυκνωμένο χώμα στο τέλος κάθε μέρας λειτουργίας ή και πιο συχνά αν είναι απαραίτητο.

Η κάλυψη των αποβλήτων κάνει την ταφή υγειονομική. Το συμπυκνωμένο στρώμα χώματος δεν επιτρέπει την είσοδο στα απόβλητα εντόμων, τρωκτικών και άλλων ζώων. Κανονικά, τα σκουπίδια αποτίθενται, συμπυκνώνονται και στη συνέχεια καλύπτονται από συμπυκνωμένο χώμα πάχους το λιγότερο 15 cm στο τέλος κάθε μέρας. Το τελευταίο στρώμα κάλυψης είναι το λιγότερο 50 cm συμπυκνωμένου εδάφους, το οποίο έχει προδιαγραφές συμπύκνωσης τέτοιες, ώστε να ελαχιστοποιεί τη διήθηση του επιφανειακού νερού.

Οι πλευρές και η βάση ενός χώρου υγειονομικής ταφής πρέπει να είναι καλυμμένοι από υλικό μικρής περατότητας.

Διαχείριση επικίνδυνων χημικών αποβλήτων

Η δημιουργία νέων χημικών ενώσεων πολλαπλασιάστηκε αφάνταστα τα τελευταία χρόνια. Αν και πολλές από τις χημικές ουσίες είναι ευεργετικές για τον άνθρωπο, περίπου 50.000 από αυτές είναι σίγουρα ή ενδεχομένως επικίνδυνες για την υγεία των ανθρώπων.



Εικόνα 1: Πάρα πολύ τοξική ουσία (TCDD) σε φωτογράφιση με μικροσκόπιο. Μπορεί να προκαλέσει ακόμη και τον άμεσο θάνατο.

Με ποιους τρόπους γίνεται η διαχείριση των χημικών αποβλήτων;

Υγειονομική ταφή

Η βασική ιδέα της υγειονομικής ταφής είναι να περιορίσει τα απόβλητα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, να ελέγξει το στράγγισμα και να το επεξεργαστεί. Μια τάφος φτιαγμένη από άργιλο ή άλλα αδιαπέρατα υλικά όπως το πλαστικό περιορίζει τα απόβλητα και ένα σύστημα εσωτερικής αποχέτευσης, συγκεντρώνει το στράγγισμα σε μια λεκάνη από όπου αντλείται και μεταφέρεται σε ένα σύστημα επεξεργασίας νερού-αποβλήτων.

Η λειτουργία των αδιαπέρατων τάφων έχει σκοπό να αποτρέψει την πιθανότητα διαρροής στο έδαφος και στο υπόγειο νερό.

Επιφανειακές ανοικτές δεξαμενές

Εκκαφές και φυσικές τοπογραφικές κοιλότητες έχουν χρησιμοποιηθεί για να κρατήσουν επικίνδυνα υγρά απόβλητα. Αυτές σχηματίζονται κυρίως από έδαφος ή άλλα εδαφικά υλικά, αλλά μπορούν να επενδύονται και με βιομηχανικά υλικά όπως ανθεκτικά πλαστικά. Οι επιφανειακές αυτές δεξαμενές κατηγορήθηκαν για μόλυνση του εδάφους και των υπόγειων νερών από διαφυγές.



Εικόνα 2: Μόλυνση του αέρα από τη λειτουργία βιομηχανικών συγκροτημάτων.

Διάθεση σε βαθιές γεωτρήσεις - φρέατα

Μια άλλη μέθοδος διάθεσης απορριμμάτων είναι η εισπίεσή τους μέσα σε βαθιές γεωτρήσεις-φρέατα. Η διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων σε βαθιές γεωτρήσεις δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν μια εύκολη λύση για τα απόβλητα των βιομηχανιών. Οι πιο ευνοϊκές θέσεις, από γεωλογική άποψη, είναι οι συγκλινικές λεκάνες και οι παράκτιες πεδιάδες, επειδή σε γενικές γραμμές περιέχουν ακολουθίες ιζηματογενών πετρωμάτων μεγάλου πάχους.

Η αποτελεσματική παρακολούθηση και καταγραφή απαιτεί ακριβή καθορισμό της γεωλογικής δομής και χαρτογράφηση πριν μπει σε εφαρμογή το πρόγραμμα διάθεσης.

Αποτέφρωση των επικίνδυνων χημικών αποβλήτων

Τα επικίνδυνα απόβλητα είναι δυνατό να καταστrophούν με αποτέφρωση. Επειδή η αποτέφρωση παράγει ως υπόλειμμα στάχτη, η οποία πρέπει να θαφτεί σε μια χωματερή, είναι ουσιαστικά μια μορφή επεξεργασίας αποβλήτων.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην αποτέφρωση και σε άλλες μεθόδους αποσύνθεσης ή καταστροφής υψηλών θερμοκρασιών αλλάζει γρήγορα.

Διαχείριση ραδιενεργών αποβλήτων

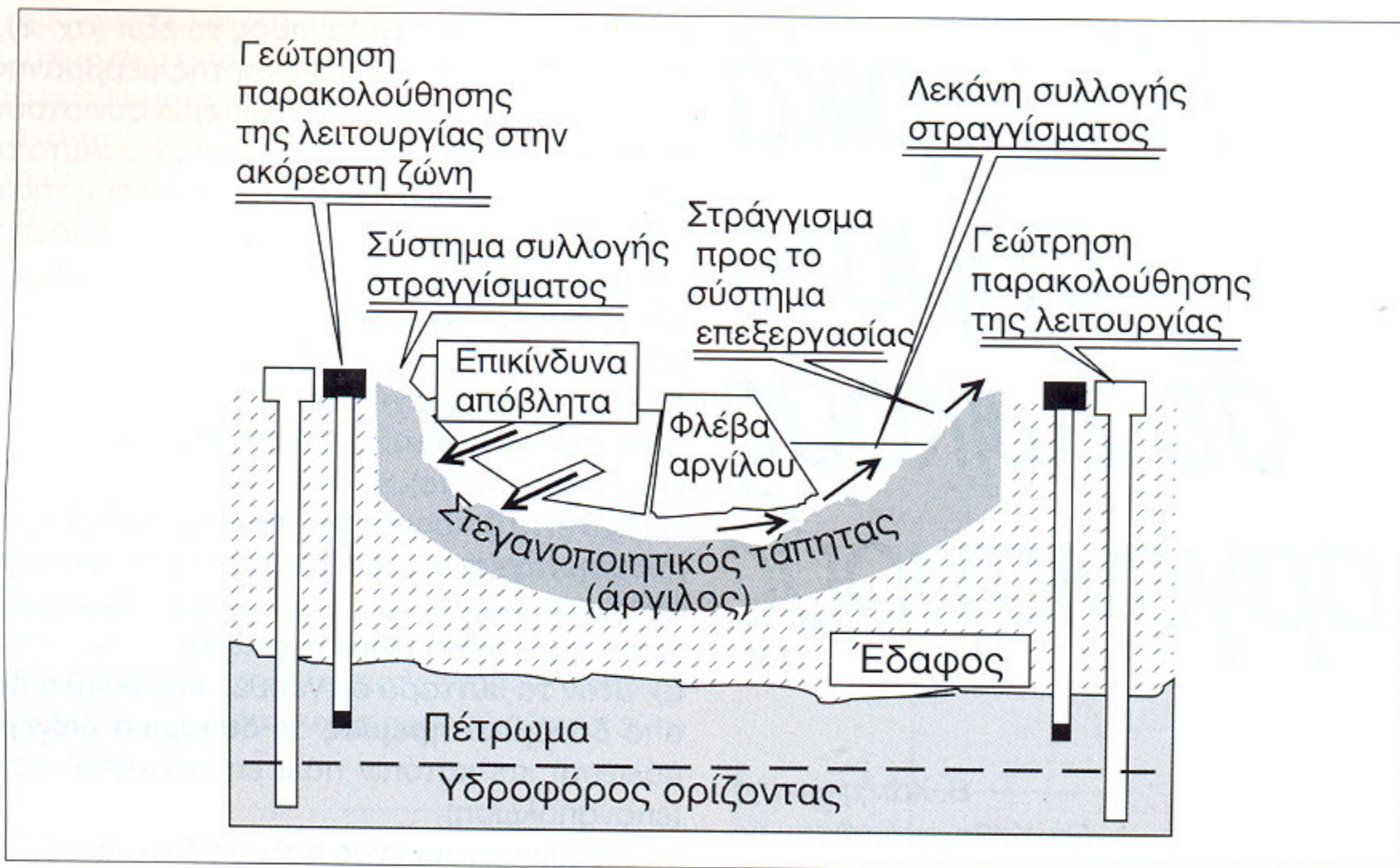
Τα ραδιενεργά απόβλητα είναι υποπροϊόντα που αναμένονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς αντιδραστήρες, την κατασκευή όπλων, κ.λπ. Τα ραδιενεργά απόβλητα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε **δύο κατηγορίες** χαμηλού-επιπέδου απόβλητα και υψηλού-επιπέδου απόβλητα.

Τα **χαμηλού-επιπέδου** απόβλητα έχουν χαμηλή ραδιενέργεια και δεν παρουσιάζουν σημαντικό περιβαλλοντικό κίνδυνο αν επεξεργαστούν κατάλληλα.

Η φιλοσοφία της διαχείρισης των χαμηλού-επιπέδου αποβλήτων αντιπροσωπεύεται από την "αραίωση και διασκόρπιση", που έχει αναφερθεί στην αρχή του κεφαλαίου. Η πείρα προτείνει την ταφή των χαμηλού-επιπέδου ραδιενεργών αποβλήτων σε ασφαλείς



Εικόνα 4: Εμφάνιση εβαποριτών στη χερσόνησο της Κυλλήνης: Οι εβαπορίτες (γύψοι) αποτελούν ασφαλή πετρώματα διάθεσης ραδιενεργών αποβλήτων. Στην προκειμένη όμως περίπτωση η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμικότητα με αποτέλεσμα να μην κρίνεται σκόπιμη η απόθεση ραδιενεργών αποβλήτων.



Εικόνα 3: Υγειονομική ταφή. Ο στεγανοποιητικός τάπητας και το αποστραγγιστικό σύστημα έχουν σκοπό την κατακράτηση του στραγγίσματος. Η παρακολούθηση της λειτουργίας του χώρου περιλαμβάνει περιοδικές αναλύσεις δειγμάτων νερού πάνω και κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα.

και ελεγχόμενες, κοντά στην επιφάνεια, περιοχές ταφής, στις οποίες οι υδρογεωλογικές και γεωλογικές συνθήκες ελαττώνουν τη διαρροή ραδιενέργειας.

Τα **υψηλού-επιπέδου** απόβλητα παράγονται από τα καύσιμα των πυρηνικών αντιδραστήρων. Αυτά τα εξαντλημένα καύσιμα πρέπει περιοδικά να υποστούν επανεπεξεργασία ή να αποθεθούν.

Τα υποπροϊόντα που παράγονται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες είναι το κρυπτό-85 (χρόνος ημιζωής 10 χρόνια), στρόντιο-90 (χρόνος ημιζωής 28 χρόνια) και καίσιιο-137 (χρόνος ημιζωής 30 χρόνια). Ο **χρόνος ημιζωής** είναι ο χρόνος που χρειάζεται η ραδιενέργεια για να μειωθεί στο μισό της αρχικής τιμής.

Γενικά, τουλάχιστον 10 ημιζωές (συχνά και περισσότερες) είναι οι ελάχιστες για να καθοριστεί ένα υλικό ως ακίνδυνο για την υγεία. Οι αντιδραστήρες παράγουν επίσης ένα μικρό ποσό πλουτωνίου 239 (χρόνος ημιζωής 24.000 χρόνια) που είναι τεχνητό στοιχείο. Επειδή το πλουτώνιο και τα υποπροϊόντα πρέπει να μείνουν απομονωμένα από το βιολογικό περιβάλ-

λον για μεγάλα χρονικά διαστήματα (250.000 χρόνια ή παραπάνω), η μόνιμη απόθεσή τους είναι ένα κυρίαρχο γεωλογικό πρόβλημα.

Είναι κοινώς αποδεκτό, ότι το γεωλογικό περιβάλλον είναι το πλέον ασφαλές για τη συγκράτηση των υψηλού επιπέδου ραδιενεργών αποβλήτων. Ένα πρόγραμμα έρευνας γεωλογικής διάθεσης πρέπει να περιλαμβάνει:

- (i) Εντοπισμό τεκτονικά σταθερών θέσεων και αργή ροή του υπόγειου νερού,
- (ii) Πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς των πιθανών θέσεων, με βάση τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες και
- (iii) Λήψη πολιτικής απόφασης για το αν οι κίνδυνοι είναι αποδεκτοί από την κοινωνία.

Το γεωλογικό περιβάλλον το οποίο από πολύ νωρίς κίνησε το ενδιαφέρον για μόνιμη διάθεση υψηλού-επιπέδου αποβλήτων ήταν οι εβαπορίτες. Η διάθεση πυρηνικών αποβλήτων σε εβαπορίτες παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως

- (i) Είναι σχετικά ξηροί και αδιαπέρατοι από το νερό,

- (ii) Οι ρωγμές που μπορεί να αναπτυχθούν σε αυτούς τείνουν να καλυφθούν από μόνες τους,
- (iii) Έχουν μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από άλλους τύπους πετρωμάτων και
- (iv) Έχουν την ικανότητα να εγκλωβίζουν την επικίνδυνη ραδιενέργεια.

Πολλοί επιστήμονες έχουν μελετήσει την ικανότητα των εβαποριτών ως χώρους απόθεσης υψηλού-επιπέδου αποβλήτων. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι οι εβαπορίτες μπορούν να απομονώσουν αποτελεσματικά τα απόβλητα από τη βιόσφαιρα για εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

Από την άλλη πλευρά, πρόσφατα, οι εβαπορίτες επικρίθηκαν λόγω του ότι έχουν σχετικά μικρή ικανότητα να απορροφούν τα ραδιενεργά σωματίδια αν αυτά είναι αδιάλυτα.

Πρόσθετα, στον **Ελληνικό χώρο** οι εβαπορίτες ανήκουν σε χώρους **υψηλής σεισμικότητας** και **έντονων γεωδυναμικών διεργασιών** (π.χ. Κυλλήνη, Σκοπός Ζακύνθου, κ.λπ.).

ΦΥΣΙΚΟΣ

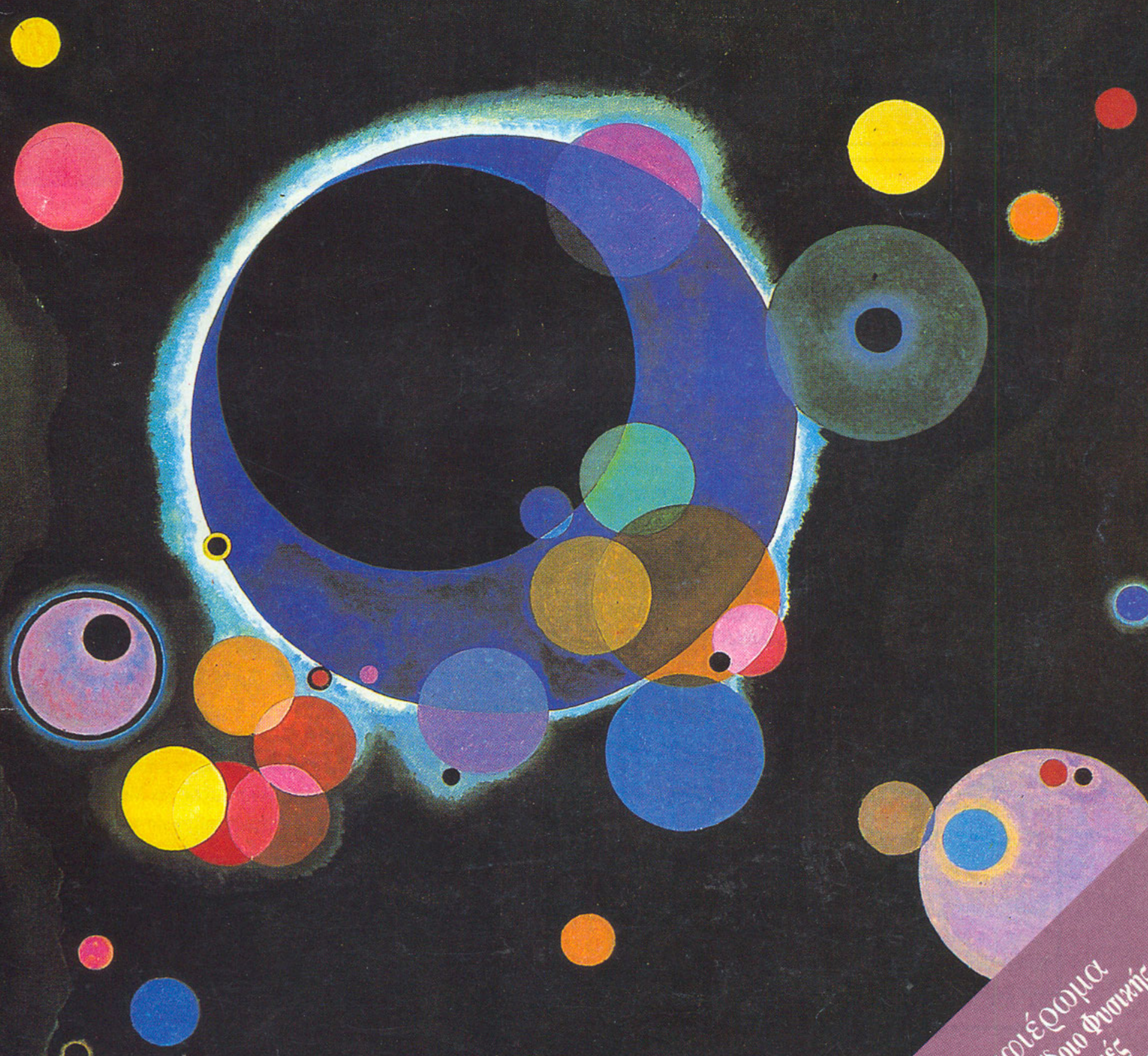
ΚΟΣΜΟΣ



ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΔΟΣΗ ΤΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΕΛΛΗΝΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ (ΓΡΙΒΑΙΩΝ 6-ΑΘΗΝΑ 106 80) - ΔΙΠΛΟ ΤΕΥΧΟΣ 148-149 ΔΡΧ. 800

ΜΑΡΤΙΟΣ - ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ '96

ISSN 1105 - 8080



αφιέρωμα
7^ο Συνέδριο Φυσικής
γενικής
εξετάσεις