



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Χημεία Περιβάλλοντος

Ενότητα 2: Ρύπανση Υδάτων

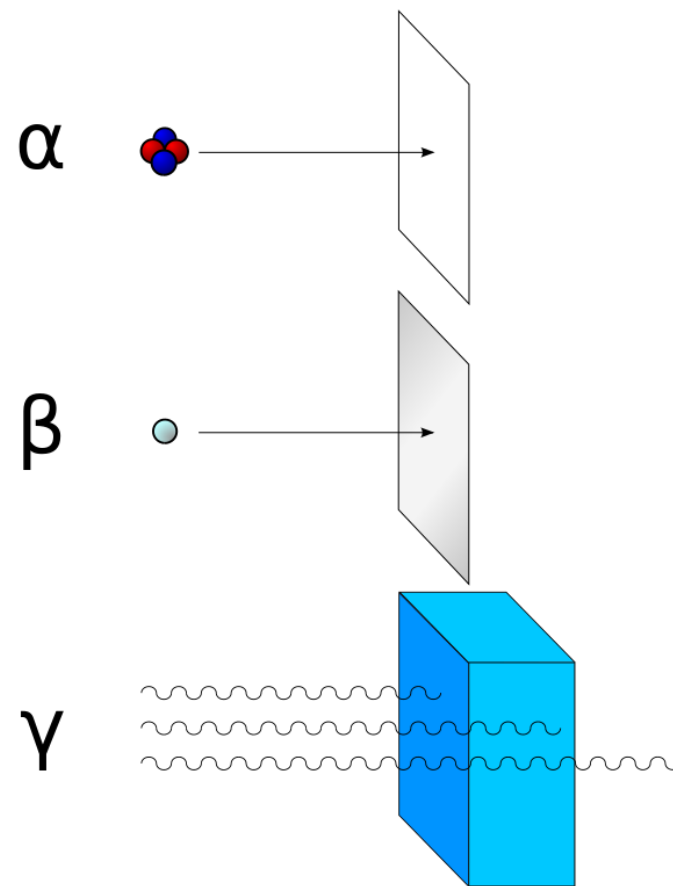
Εμμανουήλ Δασενάκης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Χημείας

Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος

# ΡΑΔΙΟΝΟΥΚΛΙΔΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



Henri Becquerel (1896)

Ανακάλυψε τυχαία πως κρύσταλλοι φωσφορικών αλάτων του ουρανίου μαυρίζουν τις φωτογραφικές πλάκες. Το φαινόμενο θεωρήθηκε πρωτότυπο καθώς οι πλάκες ήταν πολύ καλά καλυμμένες ώστε να μην έρχονται σε επαφή με φως. Χωρίς την ύπαρξη εξωτερικών αιτιών για να το προκαλέσουν, το φαινόμενο χαρακτηρίστηκε σαν αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας οφειλόμενη στο ουράνιο

Pierre, Marie Curie

Κατά την διαδικασία εξαγωγής ουρανίου από ραδιενεργό μέταλλευμα (πισσουρανίτη), ανακάλυψαν δύο άλλα στοιχεία που ονομάστηκαν Πολώνιο και Ράδιο και χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά τον όρο **ραδιενέργεια**

Rutherford

μελετώντας την σκέδαση σωματίων α απέδειξε ότι η ραδιενέργεια προκύπτει από την διάσπαση ασταθών πυρήνων

Έτσι το φαινόμενο της **ραδιενέργειας (ραδιενεργός διάσπαση)** περιγράφηκε ως η τυχαία αλλαγή του μητρικού πυρήνα ενός ατόμου που έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή/και σωματιδίων μάζας

ή

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασταθών πυρήνων να αποβάλλουν μάζα και ενέργεια καλείται **ραδιενέργεια**.

Το becquerel (Bq) είναι η μονάδα της ραδιενέργειας στο SI. Ένα Bq ορίζεται ως η ενεργότητα ποσότητας της ραδιενεργούς ύλης όπου ένας πυρήνας καταστρέφεται σε κάθε δευτερόλεπτο.

Το curie (Ci) είναι παλαιότερη μονάδα μέτρησης της ραδιενέργειας.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.70 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Ως *νουκλίδιο* ορίζεται κάθε ατομικό είδος που χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο ατομικό αριθμό  $Z$  και μαζικό αριθμό  $A$ . Τα ισότοπα με ασταθείς πυρήνες ονομάζονται **ραδιενεργά ισότοπα ή ραδιοισότοπα ή ραδιονουκλίδια**.

Τα νουκλίδια βάσει του ατομικού και μαζικού αριθμού τους χαρακτηρίζονται ως:

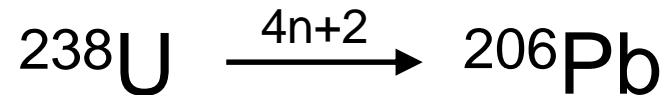
- *Ισότοπα νουκλίδια* ονομάζονται αυτά που έχουν ίδιο ατομικό αριθμό ( $Z$ ) και διαφορετικό μαζικό αριθμό ( $A$ ). Π.χ. τα νουκλίδια  ${}^{11}_6\text{C}$  και  ${}^{12}_6\text{C}$  χαρακτηρίζονται ως ισότοπα.
- *Ισοβαρή νουκλίδια* ονομάζονται αυτά που έχουν ίδιο μαζικό ( $A$ ) και διαφορετικό ατομικό αριθμό ( $Z$ ). Π.χ. τα νουκλίδια  ${}^{238}_{92}\text{U}$  και  ${}^{238}_{93}\text{Pu}$  χαρακτηρίζονται ως ισοβαρή.
- *Ισότονα νουκλίδια* ονομάζονται αυτά που έχουν διαφορετικό μαζικό ( $A$ ) και ατομικό αριθμό ( $Z$ ), αλλά ίδιο αριθμό νετρονίων ( $N$ ).  ${}^{36}\text{S}$ ,  ${}^{37}\text{Cl}$ ,  ${}^{38}\text{Ar}$ ,  ${}^{39}\text{K}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$  (ισότονοι των 20)
- Τα *πυρηνικά ισομερή* είναι νουκλίδια που έχουν ίδιο ατομικό ( $Z$ ), μαζικό ( $A$ ) και αριθμό νετρονίων ( $N$ ). Η διαφορά τους έγκειται στις διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις των πυρήνων. Το ένα ισομερές βρίσκεται στην διεγερμένη κατάσταση  ${}^{137m}_{56}\text{Ba}$ , ενώ το άλλο στην ενεργειακά θεμελιώδη  ${}^{137}_{56}\text{Ba}$ .

Στη φύση τα ραδιονουκλίδια συναντώνται με την μορφή ραδιενεργών σειρών διάσπασης. Οι ραδιενεργές σειρές σχηματίζουν αλυσίδες ραδιοϊσοτόπων καθώς ένας μητρικός πυρήνας (U, Th) διασπάται συνεχώς για να καταλήξει σε σταθερό ισότοπο μολύβδου (Pb).

Οι μητρικοί πυρήνες αποτελούνται από τα:



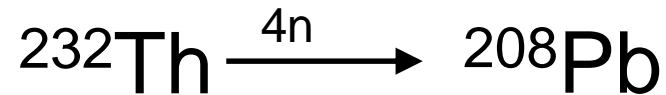
**Σειρά Ουρανίου:** αποτελεί προϊόν αλυσίδας διαδοχικών διασπάσεων του  $^{238}\text{U}$  και τελικό θυγατρικό νουκλίδιο είναι το  $^{206}\text{Pb}$ . Η σειρά ονομάζεται  $(4n + 2)$  καθώς η μάζα του κάθε ισότοπου που απαρτίζει τη σειρά μπορεί να υπολογιστεί βάσει αυτού του τύπου. Στην αλυσίδα αυτή οκτώ νουκλίδια εκπέμπουν σωματίδια  $\alpha$  και τέσσερα εκπέμπουν νουκλίδια σωματίδια  $\beta$ .



$\alpha$		Ουράνιο-238	4,47 δισεκατομμύρια έτη
	↓		
$\beta$		Θόριο-234	24,1 ημέρες
	↓		
$\beta$		Πρωτακτίνιο-234	1,17 λεπτά
	↓		
$\alpha$		Ουράνιο-234	245.000 έτη
	↓		
$\alpha$		Θόριο-230	80.000 έτη
	↓		
$\alpha$		Ράδιο-226	1600 έτη
	↓		
$\alpha$		Ραδόνιο-222	3,823 ημέρες
	↓		
$\alpha$		Πολώνιο-218	3,05 λεπτά
	↓		
$\beta$		Μόλυβδος-214	26,8 λεπτά
	↓		
$\beta$		Βισμούθιο-214	19,7 λεπτά
	↓		
$\alpha$		Πολώνιο-214	0,000164 δευτερόλεπτα
	↓		
$\beta$		Μόλυβδος-210	22,3 έτη
	↓		
$\beta$		Βισμούθιο-210	5,01 ημέρες
	↓		
$\alpha$		Πολώνιο-210	138,4 ημέρες
	↓		
		Μόλυβδος-206	ευσταθές

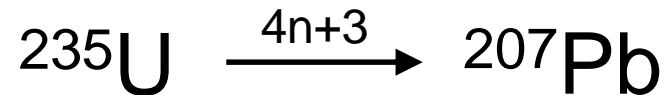


**Σειρά Θορίου:** το μητρικό φυσικό νουκλίδιο είναι το  $^{232}\text{Th}$  και το τελικό θυγατρικό της σειράς είναι το  $^{208}\text{Pb}$ . Ο τύπος υπολογισμού της μάζας των ισοτόπων σε αυτή την σειρά είναι  $4n$  (διαιρούνται με τον ακέραιο αριθμό 4). Στη σειρά του θορίου έξι νουκλίδια εκπέμπουν σωματίδια α και τέσσερα εκπέμπουν σωματίδια β.





**Σειρά Ακτινίου** (Σχήμα 3): το μητρικό νουκλίδιο της σειράς αυτής είναι το  $^{235}\text{U}$  και τελικό σταθερό ισότοπο το  $^{207}\text{Pb}$ . Στην αλυσίδα του ακτινίου επτά νουκλίδια εκπέμπουν σωματίδια και τέσσερα νουκλίδια εκπέμπουν σωματίδια  $\beta$ . Ο τύπος υπολογισμού των μαζών των ισοτόπων της αλυσίδας είναι  $(4n + 3)$ .



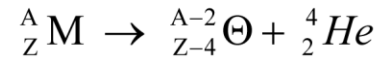


Μόνο ορισμένοι συνδυασμοί πρωτονίων και νετρονίων οδηγούν σε σταθερούς πυρήνες. Όπως προαναφέρθηκε, η ραδιενεργός διάσπαση του  $^{238}\text{U}$  καταλήγει στον  $^{206}\text{Pb}$  που έχει σταθερό συνδυασμό πρωτονίων και νετρονίων.

Για μικρούς ατομικούς αριθμούς ( $Z < 20$ ), νουκλίδια με αναλογία πρωτονίων : νετρονίων περίπου 1 είναι σταθερά, αλλά μια προοδευτικά αυξανόμενη αναλογία νετρονίων απαιτείται προκειμένου να είναι σταθερά τα νουκλίδια με υψηλότερους ατομικούς αριθμούς. Οι ασταθείς πυρήνες υφίστανται ραδιενεργό διάσπαση, η οποία είναι μια αυθόρμητη μεταστοιχείωση με εκπομπή σωματιδίων ή/και φωτονίων, με αποτέλεσμα την αλλαγή του αριθμού πρωτονίων και νετρονίων και τη μεταστοιχείωση του ατόμου σε άλλο στοιχείο.

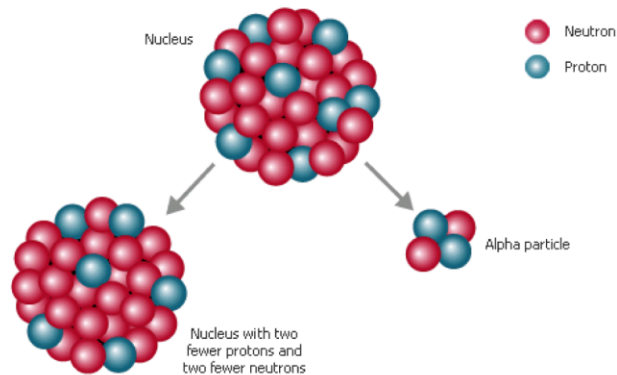
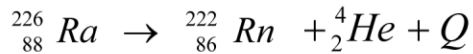
## α-Διάσπαση

Στην α-διάσπαση ένας πυρήνας εκπέμπει ένα σωματίδιο το οποίο αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, είναι δηλαδή ένας πυρήνας του ατόμου  ${}^4_2\text{He}^{2+}$ . Ο μητρικός πυρήνας μετασχηματίζεται σε θυγατρικό, ο οποίος θα διαφέρει κατά δυο μονάδες στον ατομικό αριθμό και κατά τέσσερις μονάδες στον μαζικό αριθμό όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση.



Η αποδιέγερση αυτής της μορφής συνθίζεται σε πυρήνες με ατομικό αριθμό  $Z > 83$ .

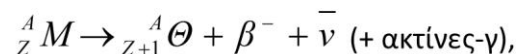
Ένα τυπικό παράδειγμα αποδιέγερσης-α που εμφανίζεται στην φύση είναι η αποδιέγερση του  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  και η μεταστοιχείωσή του σε  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ , με ταυτόχρονη αποβολή σωματίου-α και ενέργειας:



## β-Διάσπαση

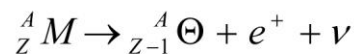
Κάθε διεργασία διασπάσεως, κατά την οποία ο μαζικός αριθμός A του νουκλιδίου παραμένει σταθερός, ενός ο ατομικός αριθμός Z μεταβάλλεται ονομάζεται β-διάσπαση. Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις β-διασπάσεως: (1)  $\beta^-$ -διάσπαση, η οποία είναι εκπομπή σωματιδίου-  $\beta^-$  ή ηλεκτρονίου, (2)  $\beta^+$ -διάσπαση, η οποία είναι εκπομπή σωματιδίου  $\beta^+$  ή ποζιτρονίου και (3) διάσπαση με σύλληψη ηλεκτρονίου.

Η γενική εξίσωση που περιγράφει τη  $\beta^-$ -διάσπαση ενός ραδιονουκλιδίου M προς ένα θυγατρικό  $\Theta$ , του οποίου η τιμή του Z είναι κατά μια μονάδα μικρότερη του M είναι:



όπου  $\bar{\nu}$  είναι το αντινεutrino. Τα νουκλίδια που είναι πλούσια σε νετρόνια, έχουν δηλαδή μεγάλη αναλογία N/Z, έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα να υποστούν  $\beta^-$ -διάσπαση.

Στη  $\beta^+$ -διάσπαση εκπέμπονται από τον πυρήνα θετικά φορτισμένα ηλεκτρόνια (ποζιτρόνια,  $\beta^+$ ). Η γενική εξίσωση για τη διάσπαση του μητρικού ραδιονουκλιδίου M προς το θυγατρικό  $\Theta$ , το οποίο έχει τιμή Z μικρότερη κατά μια μονάδα από εκείνη του μητρικού πυρήνα, είναι:

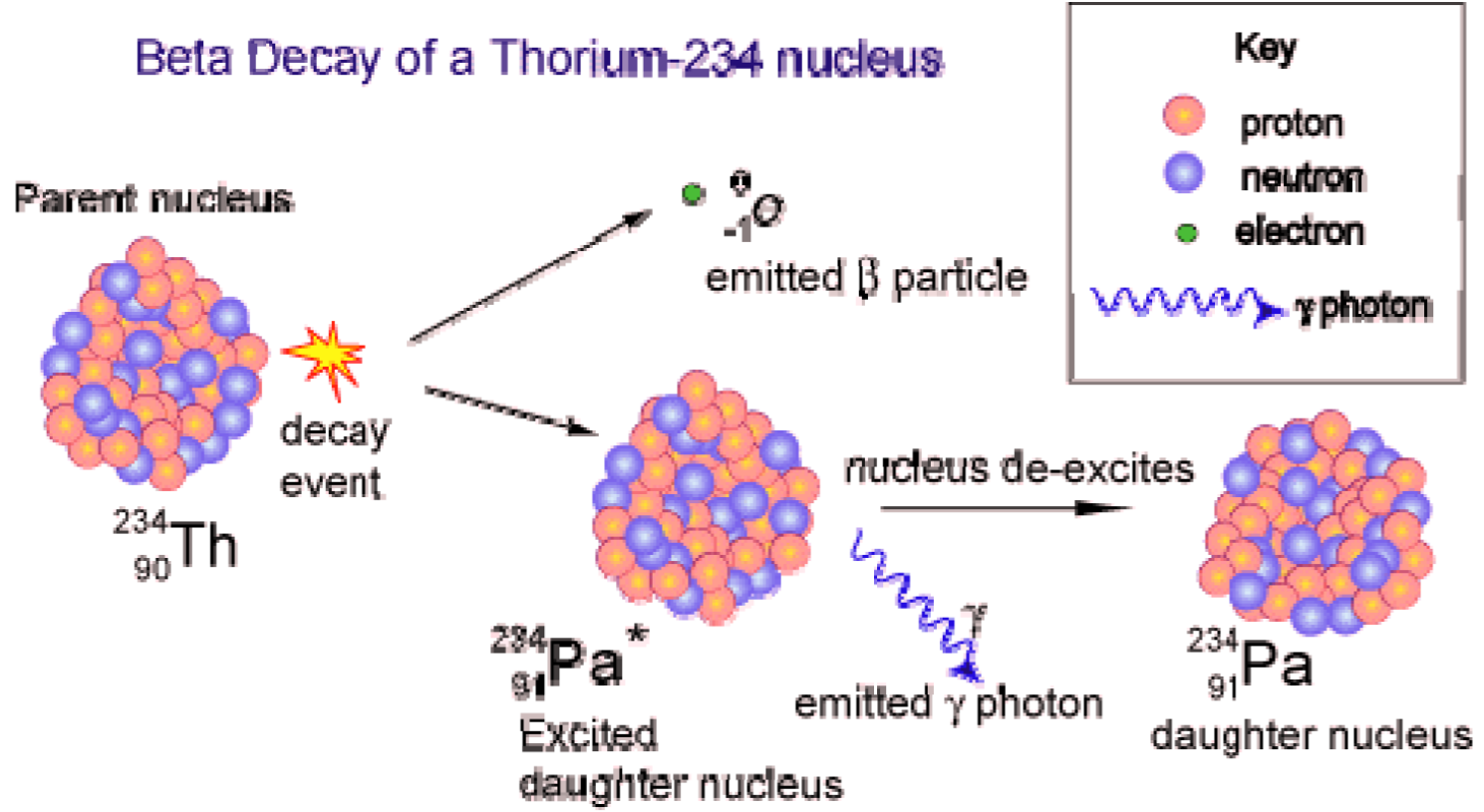


Και στις δυο υποπεριπτώσεις της αποδιέγερσης-β ο μαζικός αριθμός παραμένει σταθερός. Όταν χάνεται ένα πρωτόνιο, αντικαθίσταται αριθμητικά από ένα νετρόνιο και το αντίστροφο.

Η σύλληψη ηλεκτρονίου (EC ή ε) είναι ένας τρόπος διάσπασης κατά τον οποίο ένα ηλεκτρόνιο των ατομικών τροχιακών συλλαμβάνεται από ένα διεγερμένο πυρήνα. Η γενική αντίδραση για τη διάσπαση του μητρικού νουκλιδίου M προς το θυγατρικό νουκλίδιο  $\Theta$ , το οποίο έχει Z μικρότερο κατά μια μονάδα από εκείνον του μητρικού νουκλιδίου είναι:



# Beta Decay of a Thorium-234 nucleus



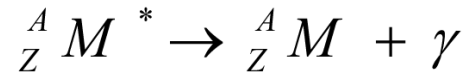
Σχήμα β- Διάσπαση με ενδιάμεση διεγερμένη κατάσταση και εκπομπή ακτίνων-γ του πυρήνα του  $^{234}\text{Th}$



## γ-Διάσπαση

Κατά τη γ-διάσπαση εκπέμπεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθώς ένας πυρήνας μεταπίπτει από ανώτερη διεγερμένη κατάσταση σε χαμηλότερη ή στη βασική του κατάσταση.

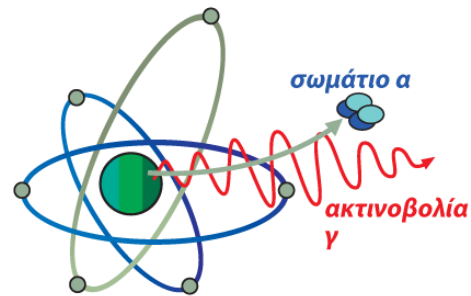
Η γενική εξίσωση για τη γ-διάσπαση είναι:



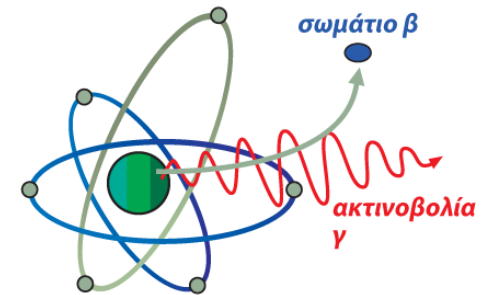
όπου το  $M^*$  δηλώνει την ενεργειακή κατάσταση. Η γ-διάσπαση δεν προκαλεί καμία μεταβολή ούτε στον ατομικό  $Z$ , ούτε στο μαζικό αριθμό  $A$  του πυρήνα. Η διεγερμένη κατάσταση του πυρήνα καθώς και η κατώτερη ενεργειακά κατάσταση του πυρήνα στην οποία καταλήγει ως αποτέλεσμα της γ-διάσπασης αναφέρονται μόνο ως πυρηνικά ισομερή μόνο όταν ο χρόνος υποδιπλασιασμού της διεγερμένης κατάστασης είναι αρκετά μεγάλος ώστε να μπορεί να μετρηθεί. Τότε η γ-διάσπαση χαρακτηρίζεται ως ισομερής. Διαφορετικά χρησιμοποιούνται οι όροι «μετασταθής ή διεγερμένη κατάσταση» για να περιγράψουν συστήματα που βρίσκονται σε ενεργειακές καταστάσεις ανώτερες της βασικής.

- Η **ακτινοβολία α**  
(εκπομπή θετικά φορτισμένου σωματιδίου μεγάλης μάζας)
- Η **ακτινοβολία β**  
(εκπομπή φορτισμένου σωματιδίου μικρής μάζας)
- Η **ακτινοβολία γ**  
(εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας)

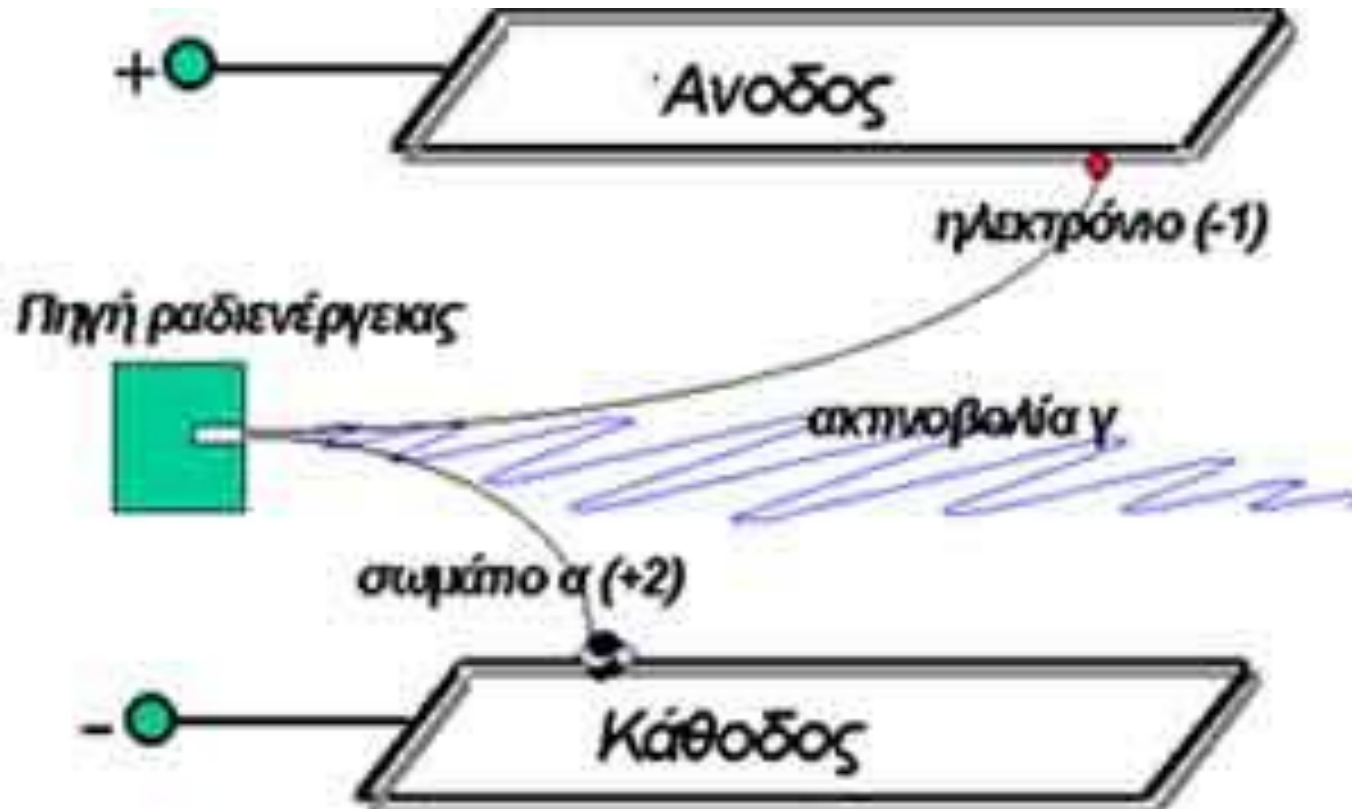
Εκπομπή σωματίου α



Εκπομπή σωματίου β



# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ



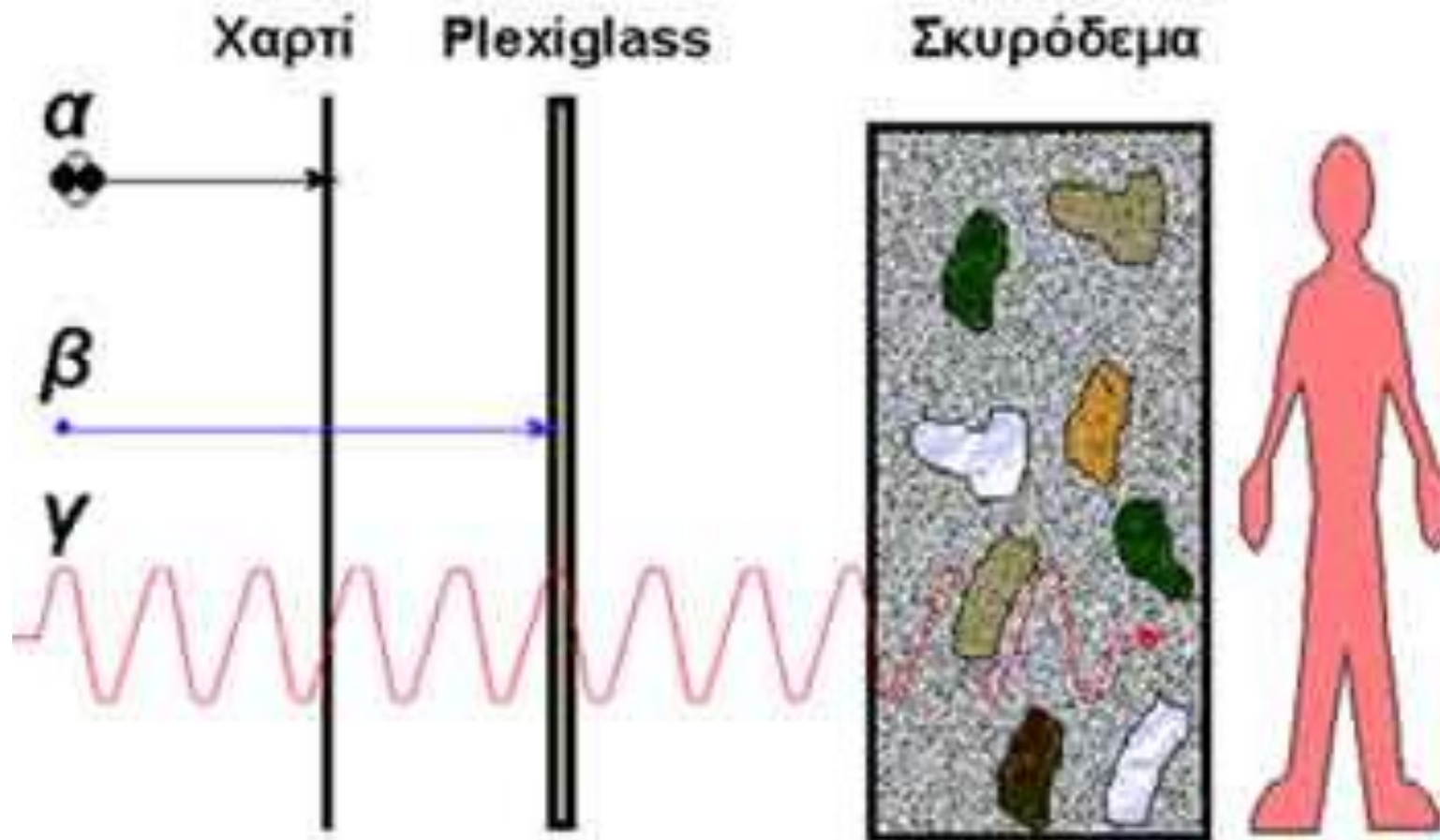
# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

Η διεισδυτικότητα ενός είδους ακτινοβολίας μέσα σε δεδομένο υλικό είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η μάζα και το φορτίο της ακτινοβολίας. Ειδικότερα και όσον αφορά τη βλαπτικότητα μιας ακτινοβολίας όταν αυτή προσβάλλει ανά ζωντανό κύτταρο, αυτή εξαρτάται τόσο από το ποσό της εναποτιθέμενης στο προσβαλλόμενο κύτταρο ενέργειας όσο και από τον τρόπο εναπόθεσής της σε αυτή.

Έτσι, ακτινοβολίες με μικρή εμβέλεια (διεισδυτικότητα) στους ιστούς, εναποθέτουν όλη την ενέργειά τους στο μικρό μήκος διαδρομής τους και δημιουργούν μεγάλη βλάβη στα προσβαλλόμενα κύτταρα λόγω της μεγάλης χωρικής πυκνότητας των αλληλεπιδράσεων.

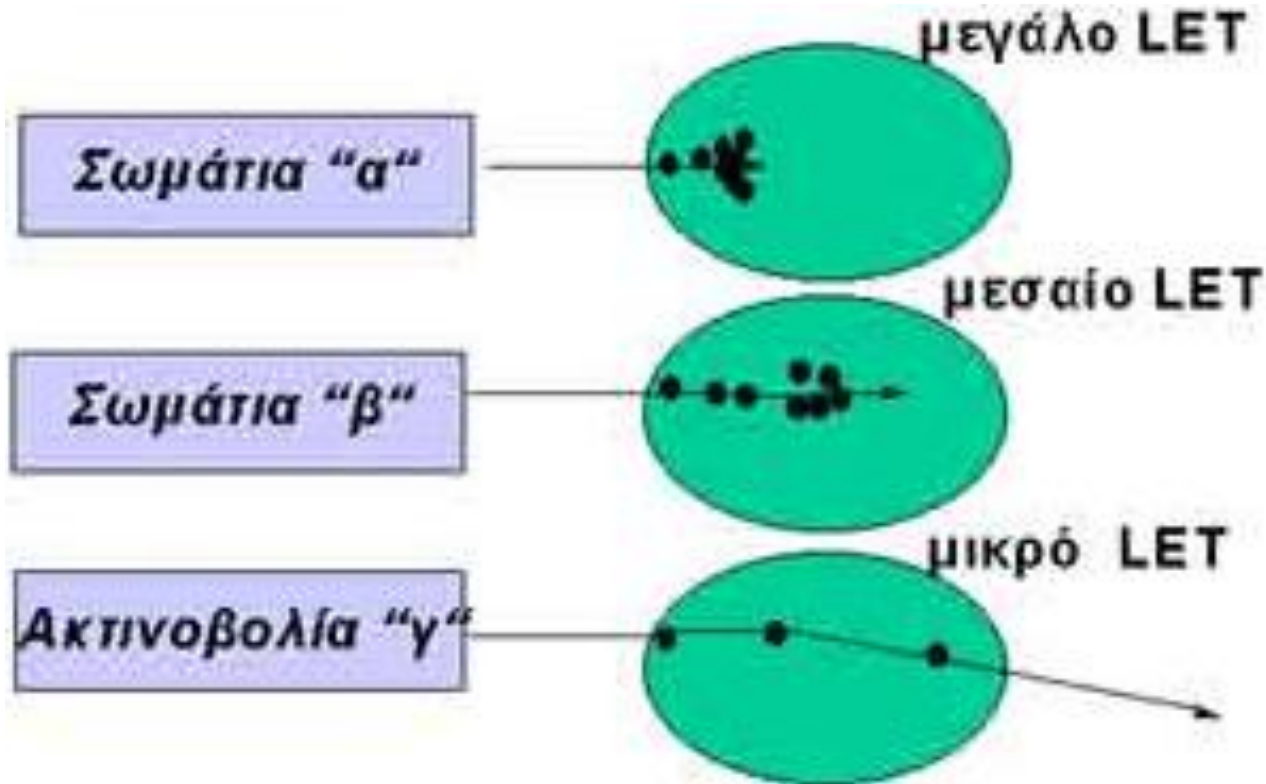
Αντίθετα, διεισδυτικές ακτινοβολίες με μεγάλη εμβέλεια στους ιστούς, κατανέμουν την ενέργειά τους σε μεγαλύτερο μήκος διαδρομής, κατά την οποία η τοπική πυκνότητα των αλληλεπιδράσεων είναι μικρή και έτσι η βλάβη των προσβαλλόμενων κυττάρων είναι σχετικά μικρότερη.

# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ



# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

Το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τον τρόπο εναπόθεσης της ενέργειας στην ύλη και αποτελεί μέτρο της βλαπτικότητας μιας ακτινοβολίας είναι ο συντελεστής γραμμικής μετάδοσης της ενέργειας LET (Linear Energy Transfer). Ακτινοβολίες με μεγάλο LET είναι βλαπτικότερες από αντίστοιχες με μικρό LET.



**Η ακτινοβολία "α"**: είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες και μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Το σωματίδιο  $\alpha$  είναι σχετικά βαρύ σωματίο διότι αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, (είναι δηλαδή πυρήνας του στοιχείου ηλίου, τέσσερις φορές βαρύτερο του πυρήνα του υδρογόνου), και μεταφέρει σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο (+2). Όταν τα σωματίδια  $\alpha$ , προσβάλλουν την ύλη, λόγω των προαναφερθέντων φυσικών ιδιοτήτων τους, επιβραδύνονται έντονα διότι αλληλεπιδρούν με τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά και βαρυτικά πεδία που περιβάλλουν τα άτομα, με αποτέλεσμα την άμεση απορρόφησή τους στα πρώτα κίολας ελάχιστα πάχη του υλικού που συναντούν. **Η ακτινοβολία "α"** χαρακτηρίζεται από υψηλό LET και είναι δυνατόν να αποκοπεί πλήρως από ένα και μόνο λεπτό φύλλο χαρτιού.

**Η ακτινοβολία "β"**: είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες ή μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Τα σωματίδια  $\beta$  είναι ηλεκτρόνια, με μικρή μάζα (7000 φορές περίπου ελαφρύτερη από αυτήν των σωματίων "α"), και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο (+1 ή -1, τα θετικά ηλεκτρόνια καλούνται ποζιτρόνια). Οι φυσικές αυτές ιδιότητες επιτρέπουν στην ακτινοβολία "β" να διεισδύει στην ύλη με μεγαλύτερη ευκολία και να διανύει σημαντικά μεγαλύτερη διαδρομή από ότι η ακτινοβολία "α" και συνεπώς χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλότερο LET. Μερικά χιλιοστά plexiglass είναι ικανά να αποκόψουν την ακτινοβολία "β".

**Η ακτινοβολία "γ":** είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, που συνοδεύει τις ραδιενεργές διασπάσεις των πυρήνων. Δεν έχει μάζα και δε μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι η διέλευσή της μέσα από τα πλέγματα των ατόμων της ύλης δεν παρακωλύεται ενώ η πιθανότητά της να αλληλεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες των ατόμων είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς είναι δεισδυτική ακτινοβολία χαμηλού LET και αποκόπτεται δύσκολα. Συνήθως για την προστασία μας από αυτήν κατά τις ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μόλυβδος ή σκυρόδεμα το πάχος των οποίων εξαρτάται από την ενέργεια και την ένταση της ακτινοβολίας.



# Roentgen

- Ονομάστηκε από τον Wilhelm C. Roentgen (η σύντμηση είναι “R”)
- Πρόκειται για την ποσότητα των ηλεκτρικών φορτίων που παράγονται στον αέρα από τις ακτίνες X ή τα φωτόνια  $\gamma$  (πρόκειται για μέτρηση του ιονισμού του αέρα)
- $1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
- Περιορισμοί:
  - χρησιμοποιείται μόνο σε φωτόνια
  - χρησιμοποιείται μόνο στον αέρα
  - χρησιμοποιείται μόνο για ενέργειες μικρότερες από 3 MeV
- rad (Radiation Absorbed Dose): πρόκειται για την ενέργεια που προκύπτει από την απορρόφηση 1 Roentgen ή  $6.24 \times 10^5 \text{ MeV}$ .





# rem

- Roentgen Equivalent Mammal
- Η μονάδα της ισοδύναμης δόσης για κάθε τύπο ιονίζουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από τους ιστούς του σώματος, σε όρους της εκτιμώμενης βιολογικής επίδρασης – Μονάδα ισοδύναμης δόσης (Unit of dose equivalent)
- Η δόση που αναφέρεται στην υγεία είναι εκφρασμένη σε μονάδες rem
- $1\text{rem} = 1\text{Roentgen}$
- Στο SI Sievert (Sv):  $1\text{Sv} = 100\text{rem}$



# rem

Το rem είναι ίσο με τα απορροφόμενα rads πολλαπλασιασμένα με ένα συντελεστή

## Συντελεστές Ποιότητας

- σωματίδια  $\beta = 1$
- ακτίνες  $\gamma$  & φωτόνια ακτίνων  $X = 1$
- σωματίδια  $\alpha = 10$
- Νετρόνια = 20

# Νέες μονάδες



Στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουν αντικατασταθεί οι μονάδες RAD και REM

GRAY (Gy) = 100 RAD

SIEVERT (Sv) = 100 REM

οι ίδιοι συντελεστές ποιότητας εφαρμόζονται στο Sv

# Ποσότητες που σχετίζονται με την ακτινοβολία

Ποσότητα	Όνομα	Σύμβολο	Σύστημα μέτρησης
Έκθεση	röntgen	R	non-SI
Απορροφούμενη δόση	rad	rad	non-SI
	gray	Gy	SI
Ενεργότητα	curie	Ci	non-SI
	becquerel	Bq	SI
Ισοδύναμο δόσης	röntgen equivalent man	rem	non-SI
	sievert	Sv	SI

# Υπολογισμός χρόνου ημίσειας ζωής

χρόνος ημίσειας ζωής (half life)



# Ετήσια όρια δόσεων

	Ενήλικας (>18 ετών)	Παιδί (<18 ετών)
Όλο το σώμα	5000 mrem/yr	500 mrem/yr
Φακοί ματιών	15000 mrem/yr	1500 mrem/yr
Άκρα	50000 mrem/yr	5000 mrem/yr
Δέρμα	50000 mrem/yr	5000 mrem/yr
Όργανα	50000 mrem/yr	5000 mrem/yr

Εξωτερικά / εσωτερικά όρια έκθεσης σε εργασιακούς χώρους

# Επίδραση δόσεων

- 0 – 150 rem : Έλλειψη ή περιορισμένα συμπτώματα
- 150 – 400 rem : Μέτρια έως σοβαρή επίδραση
- 400 – 800 rem : Σοβαρή επίδραση, ξεκινούν θάνατοι πάνω από 500 rem
- >800 rem : θανάσιμη επίδραση

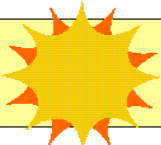



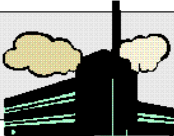
\* Δόσεις που αφορούν όλο το σώμα



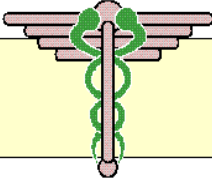

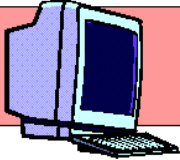

# Ετήσια επίδραση

Δραστηριότητα	Τυπική δόση
Κάπνισμα	280 mrem/yr
Χρήση ραδιενεργών υλικών σε εργαστήριο	<10 mrem/yr
Ακτινογραφίες οδοντιάτρου	10 mrem/x-ray
Ακτινογραφίες θώρακος	8 mrem/x-ray
Πόση νερού	5 mrem/yr
Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί	0.165 mrem/yr

# Ακτινοβολία από φυσικές πηγές

	Source	mrem/year
	Cosmic rays	28
	The earth	26
	Radon	200
	The human body	25
	Building materials	4

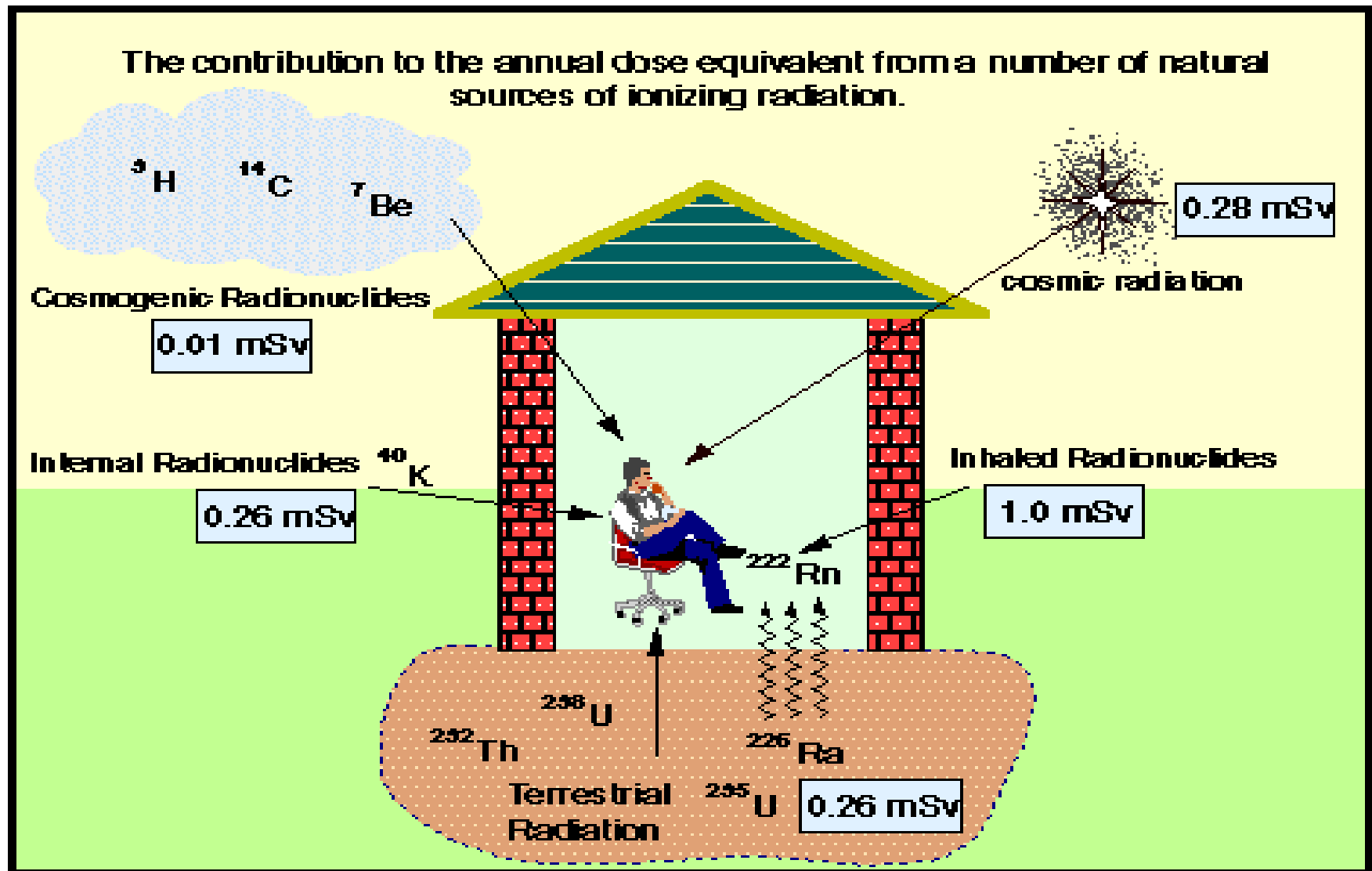
# Ακτινοβολία από ανθρωπογενείς πηγές

	Source	mrem/year
	Medical	90
	Fallout	5
	Consumer products	1
	Nuclear power	0.3

# Εκτιμώμενη έκθεση του μέσου πληθυσμού

- Μεταξύ 320 – 360 mrem/year

# Ακόμη μια ματιά στις πηγές



# ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## *1) γ- φασματοσκοπική ανάλυση με διατάξεις χαμηλού υποβάθρου*

Η μέθοδος της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ραδιοϊσοτόπων σε δείγματα. Δίνει τη δυνατότητα του ταυτόχρονου προσδιορισμού πλήθους ραδιοϊσοτόπων, όπως των Cs-134, Cs-137, Co-60, I-131, Ra-226, Am-241. Η μέτρηση γίνεται συνήθως με ανιχνευτές υπερκαθαρού γερμανίου (HPGe), οι οποίοι ψύχονται σε θερμοκρασία υγρού αζώτου (-200ο C) και τοποθετούνται στο εσωτερικό θωράκισης μολύβδου, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται από την ακτινοβολία του περιβάλλοντος.

Με τη μέθοδο αυτή μετρώνται:

- δείγματα τροφίμων, οικοδομικών υλικών, φίλτρα ελέγχου διαρροής, κ.ά.,
- δείγματα χώματος, στερεών υπολειμμάτων, φίλτρων αέρος, φυτών, υδάτων, ιζήματος ποταμών,
- βιολογικά δείγματα για τον έλεγχο εσωτερικής ραδιορρύπανσης.

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2) Μέτρηση ολικής α/β ακτινοβολίας

Με τη μέθοδο αυτή διενεργούνται:

- Εξάχνωση νερών και απευθείας μέτρηση του ιζήματος.
- Ιζηματοποίηση ραδιονουκλιδίων που εκπέμπουν α-ακτινοβολία με ειδικά αντιδραστήρια και μέτρηση του ιζήματος για α-ακτινοβολία.

## 3) α-φασματοσκοπία

Η μέθοδος βασίζεται στην απομόνωση, μετά από κατάλληλη χημική επεξεργασία, ραδιοϊσοτόπων που εκπέμπουν α-ακτινοβολία, όπως ραδιοϊσότοπα του ουρανίου, θορίου, πλουτωνίου, αμερικού, ραδίου από δείγματα νερού, αέρα, χώματος, τροφίμων, ούρων και κοπράνων.

Αναλυτική μέθοδος 3 βημάτων βασιζόμενη σε:

- α) χημική επεξεργασία του δείγματος
- β) ιοντοανταλλαγή (ανταλλαγή ανιόντων) για την απομόνωση του ισότοπου από τα θυγατρικά του.
- γ) ηλεκτροεναπόθεση, έτσι ώστε να εναποτεθεί το ισότοπο σαν μέταλλο σε ανοξείδωτο πλακίδιο.

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## *4) Μετρήσεις συγκέντρωσης ραδονίου*

Γίνονται μετρήσεις της συγκέντρωσης του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με τη χρήση δοσιμέτρων που βασίζονται στους ανιχνευτές ιχνών. Οι παθητικοί ανιχνευτές ιχνών είναι μία από τις απλές και οικονομικές μεθόδους για ολοκληρωτικές μετρήσεις της συγκέντρωσης του ραδονίου στον εσωτερικό αέρα κατοικιών. Η μέθοδος βασίζεται στην τοποθέτηση ενός ανιχνευτή ιχνών SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector) υπό μορφή πλακιδίου διαστάσεων από 2-5 cm και πάχους μερικών mm, μέσα σε ένα πλαστικό δοχείο. Τα δοσίμετρα (δοχείο με τον ανιχνευτή) τοποθετούνται για διάστημα από 1 μήνα έως και 1 χρόνο σε ορισμένα σημεία της κατοικίας και στη συνέχεια επιστρέφονται στην ΕΕΑΕ, όπου μετά από κατάλληλη χημική επεξεργασία μετρώνται σε οπτικό μικροσκόπιο.



# ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τα ραδιοϊσότοπα που υπάρχουν στη φύση μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Φυσικά ραδιοϊσότοπα** (ραδιοϊσότοπα τα οποία είναι συστατικά του φλοιού της γης από την στιγμή της δημιουργίας της).
- **Κοσμογενή ραδιοϊσότοπα** (ραδιοϊσότοπα που παράγονται από την αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα).
- **Τεχνητά παραγόμενα ραδιοϊσότοπα** (παράγονται τεχνητά σε εγκαταστάσεις υψηλής τεχνολογίας, όπως σε πυρηνικούς αντιδραστήρες και επιταχυντές σωματίων).

# ΦΥΣΙΚΑ ΡΑΔΙΟΙΣΟΤΟΠΑ

Τα ραδιενεργά υλικά υπάρχουν στο περιβάλλον από τη δημιουργία της Γης.

Τα ραδιονουκλίδια που υπάρχουν στη φύση σε μεγαλύτερη αφθονία είναι:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  και  $^{235}\text{U}$ .

Ο κύριος όγκος του παγκόσμιου ισοζυγίου ραδιενέργειας προερχόμενη από τις ακτινίδες στα ανώτερα 100μ. του φλοιού της λιθόσφαιρας αντιστοιχεί σε περίπου  $10^{22}$  Bq ή  $2.7 \times 10^{11}$  Ci και οφείλεται στα ισότοπα ουρανίου και θορίου. Το ποσό αυτό είναι περίπου ίσο με την ολική ραδιενέργεια του  $^{40}\text{K}$  στους ωκεανούς. Οι μέσες συγκεντρώσεις στο φλοιό της Γης για το ουράνιο (κυρίως 238) και το Θόριο (κυρίως 232) είναι αντίστοιχα  $2.7 \mu\text{g g}^{-1}$  και  $9.6 \mu\text{g g}^{-1}$ .

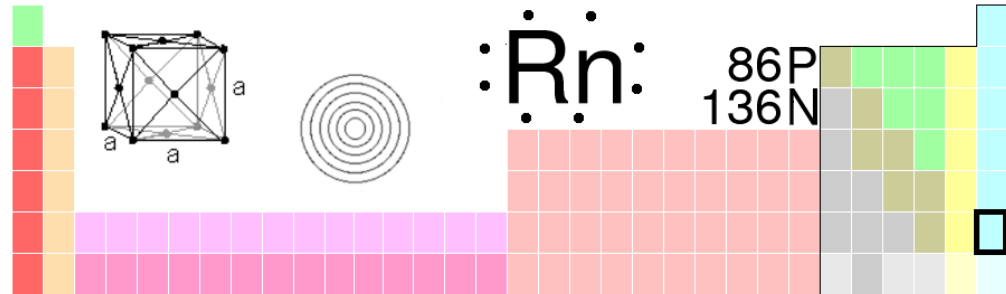
# ΠΗΓΕΣ U, Th ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- φωσφορικά λιπάσματα
- εξόρυξη και επεξεργασία U
- καύση λιγνίτη
- σκόνη γεωλογικής προέλευσης

Οι κύριοι κίνδυνοι που τίθενται για το U είναι η χημική τοξικότητα του και οι ραδιολογικοί κίνδυνοι που παρουσιάζουν κάποια από τα προϊόντα διάσπασης, ιδιαίτερα αυτά που εκπέμπουν α-ακτινοβολία, όπως το  $^{226}\text{Ra}$  και  $^{222}\text{Rn}$  σε περίπτωση εισπνοής ή κατάποσης, αφού είναι καρκινογόνα.

Τοποθεσία	Πηγές ραδιενέργειας	Κύρια ραδιονουκλίδια	Ποσό ραδιενέργειας	Αναφορά
Παγκοσμίως	Πρώτα 100 m λιθόσφαιρας	$^{238,235}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$	$1.0 \times 10^{22}$ Bq	Ewing, (1999), Santschi & Honeyman (1989)
Γεωλογικές Αποθέσεις ραδιενεργών αποβλήτων	70 kt καταναλωθέντος καυσίμου	$^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$	$1.0 \times 10^{22}$ Bq	Ewing, (1999), Santschi & Honeyman (1989)
Ατμοσφαιρικές δοκιμές		$^{131}\text{I}$ και $^3\text{H}$ $^{239,240}\text{Pu}$	$2.0 \times 10^{20}$ Bq $1.0 \times 10^{17}$ Bq	Ewing, (1999), Santschi & Honeyman (1989)
Mayak, Ρωσία	Πυρηνική παραγωγή	Διάφορα πυρηνικά απόβλητα $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$	$3.6 \times 10^{19}$ Bq $2.1 \times 10^{19}$ Bq	Cochran et al. 1993
Πυρηνικό Οπλοστάσιο ΗΠΑ	Ραδιενεργά απόβλητα/100 εκατ. γαλλόνια ( $3.8 \times 10^5 \text{ m}^3$ )	Βραχύβια ( $t_{1/2} < 50$ yr): $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Y}$ , $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , $^{241}\text{Pu}$ Μεγαλύτερης ημιζωής ( $t_{1/2} = 50-500$ yr): $^{238}\text{Pu}$ , $^{131}\text{Sm}$ , $^{241}\text{Am}$ Μεγάλης ημιζωής ( $t_{1/2} = 500-50000$ yr): $^{239}\text{Pu}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{14}\text{C}$ Μακροβιότερα ( $t_{1/2} > 50000$ yr): $^{99}\text{Tc}$ , $^{135}\text{Cs}$ , $^{233}\text{U}$	$3.6 \times 10^{19}$ Bq $1.1 \times 10^{17}$ Bq $3.3 \times 10^{15}$ Bq $2.0 \times 10^{15}$ Bq	US DOE, 1997
Chernobyl	Πυρηνικό ατύχημα 1986	$^{131}\text{I}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{103,106}\text{Ru}$	$1.2 \times 10^{19}$ Bq	Ewing, 1999, Santschi & Honeyman, 1989 IAEA, 1996
ΗΠΑ	Εξόρυξη και επεξεργασία U	$^{226}\text{Ra}$	$1.9 \times 10^{15}$ Bq	Ewing, 1999

# Ραδόνιο, Rn



- Το ραδόνιο είναι ένα ραδιενεργό αέριο. Είναι άοσμο, άγευστο και άχρωμο. Είναι ένα ευγενές αέριο και βρίσκεται σε όλον τον κόσμο σε διάφορες συγκεντρώσεις.

- Το ραδόνιο, απελευθερώνεται από την ραδιενεργό διάσπαση του ουρανίου, που βρίσκεται στα πετρώματα και στο έδαφος. Όταν απελευθερωθεί, διαφεύγει από τους πόρους και τις ρωγμές των πετρωμάτων, και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα. Άοσμο, αθέατο και χωρίς γεύση, καθώς είναι το ραδόνιο, δεν μπορεί να ανιχνευθεί από τις ανθρώπινες αισθήσεις.

- Το ραδόνιο εισέρχεται στα υφιστάμενα κτίρια από τις ρωγμές στο σκυρόδεμα, ή από τις οπές που διανοίγονται στο σκυρόδεμα του δαπέδου ή στους τοίχους για να περάσουν οι σωληνώσεις των αποχετεύσεων και της ύδρευσης και δεν έχουν σφραγιστεί κατάλληλα.

- Σε πολλές πολιτείες των ΗΠΑ είναι υποχρεωτική η μέτρηση του ραδονίου, πριν την έκδοση της οικοδομικής άδειας.

- Σύμφωνα με έρευνες, 12 σημεία του Ελληνικού χώρου ξεπερνούν κατά πολύ τα όρια ασφαλείας και 25 τα όρια κινδύνου.

# Ραδόνιο, Rn

**Περιοχές με τη μεγαλύτερη συσσώρευση ραδονίου στην Ελλάδα:**

Νεράιδα Θεσπρωτίας	511 bq/m <sup>3</sup>
Μελιβοία Ξάνθης	460 bq/m <sup>3</sup>
Κέντρο Καβάλας Καβάλας	350 bq/m <sup>3</sup>
Σέλερο Ξάνθης	320 bq/m <sup>3</sup>
Πρασινάδα Δράμας	280 bq/m <sup>3</sup>
Μύκονος Κυκλάδων	280 bq/m <sup>3</sup>
Δεσκάτη Γρεβενών	279 bq/m <sup>3</sup>
Πεντάλοφο Κοζάνη	258 bq/m <sup>3</sup>
Νικίσιανη Καβάλας	237 bq/m <sup>3</sup>
Κέντρο Θεσ/νίκης Θεσσαλονίκης	220 bq/m <sup>3</sup>
Δοξάτο Δράμας	211 bq/m <sup>3</sup>
Γενισέα Ξάνθης	200 bq/m <sup>3</sup>

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) έχει ορίσει ως ανώτερο επιτρεπτό όριο ραδονίου στο εσωτερικό των κατοικιών, των σχολείων και των χώρων εργασίας τα **150 μπεκερέλ ανά κυβικό μέτρο**

# ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ραδιενεργή ρύπανση συνδέεται κυρίως με τη χρήση πυρηνικών όπλων κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, τις δοκιμές πυρηνικών όπλων κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου, την ανεξέλεγκτη απόθεση πυρηνικών αποβλήτων υψηλού κινδύνου και βέβαια τα πυρηνικά ατυχήματα. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η διασπορά επικίνδυνων ραδιονουκλιδίων στο περιβάλλον, με πλέον σημαντικά (εκτός φυσικά των υπερουράνιων στοιχείων) να θεωρούνται το  $^{137}\text{Cs}$  και  $^{90}\text{Sr}$ .

Προϊόντα σχάσης	$t_{1/2}$ (yr)
$^{79}\text{Se}$	$6.5 \times 10^5$
$^{90}\text{Sr}$	28.1
$^{93}\text{Zr}$	$1.5 \times 10^6$
$^{99}\text{Tc}$	$2.12 \times 10^5$
$^{103}\text{Ru}$	0.11
$^{106}\text{Ru}$	0.56
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	0.69
$^{125}\text{Sb}$	2.7
$^{129}\text{I}$	$1.7 \times 10^7$
$^{134}\text{Cs}$	2.06
$^{137}\text{Cs}$	30.2
$^{144}\text{Ce}$	0.78



# ΑΤΥΧΗΜΑ CHERNOBYL (26 Απριλίου 1986)

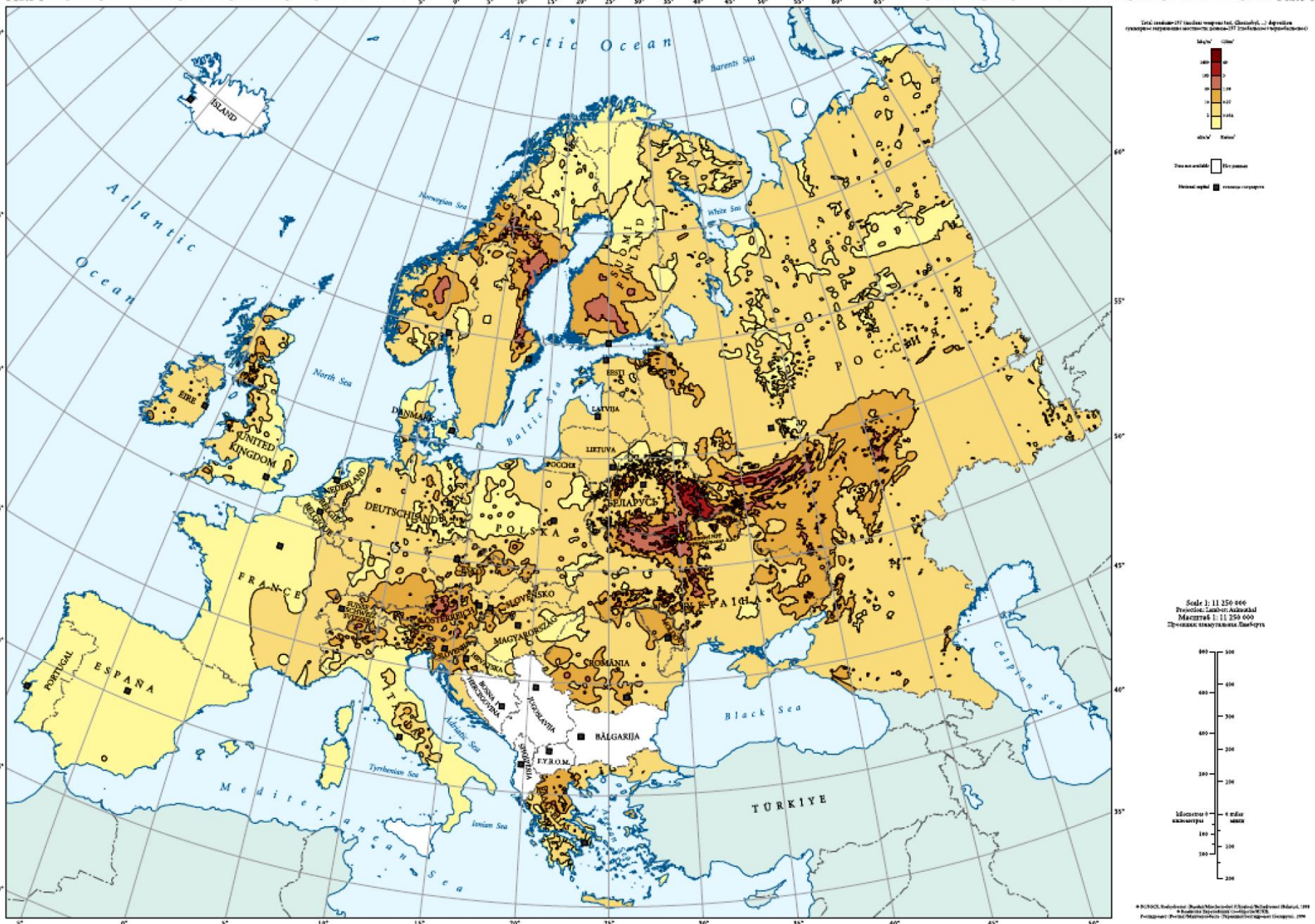
Τις πρώτες τέσσερις ημέρες λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών στον αντιδραστήρα, εκλύθηκαν τα πτητικά στοιχεία (Xe, Kr, I, Te και Cs), τα οποία αποτέθηκαν βορειοδυτικά, δυτικά και βορειοανατολικά του σταθμού, φτάνοντας μέχρι τη Σκανδιναβία

Τις επόμενες έξι ημέρες οι θερμοκρασίες στον αντιδραστήρα μειώθηκαν και έτσι μειώθηκε και η εκπομπή πτητικών προϊόντων σχάσης. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες (600 – 1200 K) ευνόησαν την οξείδωση του πυρηνικού καυσίμου, έτσι τα προϊόντα που εκλύθηκαν σε αυτή τη φάση ήταν οξειδωμένα. Τα ραδιονουκλίδια αυτά αποτέθηκαν με φορά προς τα νότια, φτάνοντας μέχρι την Ελλάδα

Διεθνής Κλίμακα Πυρηνικών Γεγονότων

Επίπεδο	Χαρακτηρισμός <sup>[1]</sup>
7	Καταστροφικό ατύχημα
6	Σοβαρό ατύχημα
5	Ατύχημα με περιβαλλοντικές διαστάσεις
4	Ατύχημα χωρίς σημαντικές περιβαλλοντικές διαστάσεις
3	Σοβαρό συμβάν
2	Συμβάν
1	Ανωμαλία
0	Εκτροπή





# Περιστατικά καρκίνου του θυρεοειδούς σε παιδιά και ενήλικες που εκτέθηκαν σε $^{131}\text{I}$ ως αποτέλεσμα του ατυχήματος στο Chernobyl

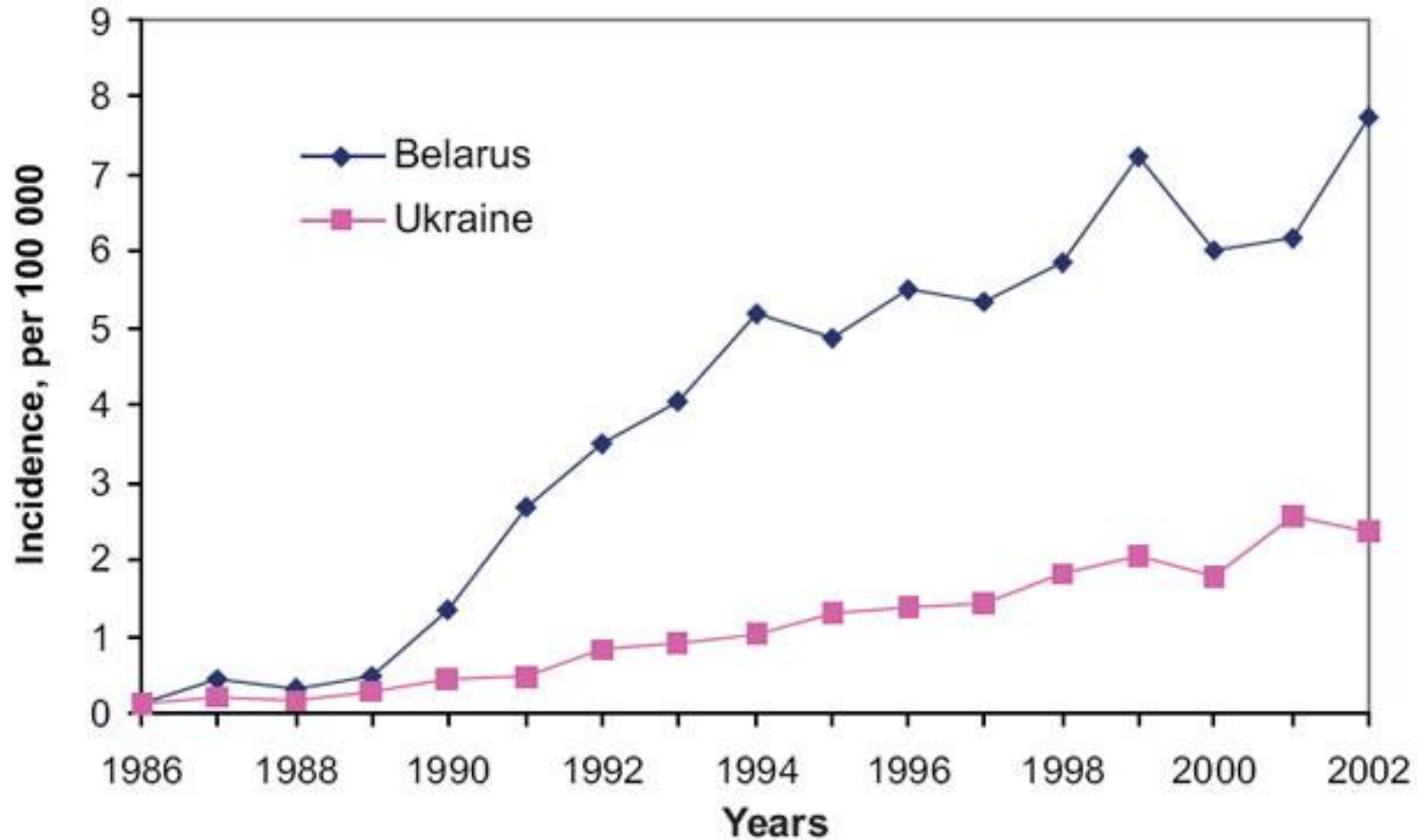




Figure 13 Greece and Turkey - Greece and Turkey - Greece and Turkey

Figure 14 Greece and Turkey - Greece and Turkey - Greece and Turkey

· Πρώτες μετρήσεις ραδιενεργούς επίπτωσης του ατυχήματος του Chernobyl στην Ελλάδα, kBq m<sup>-2</sup> (Έκθεση 86/3G της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας)

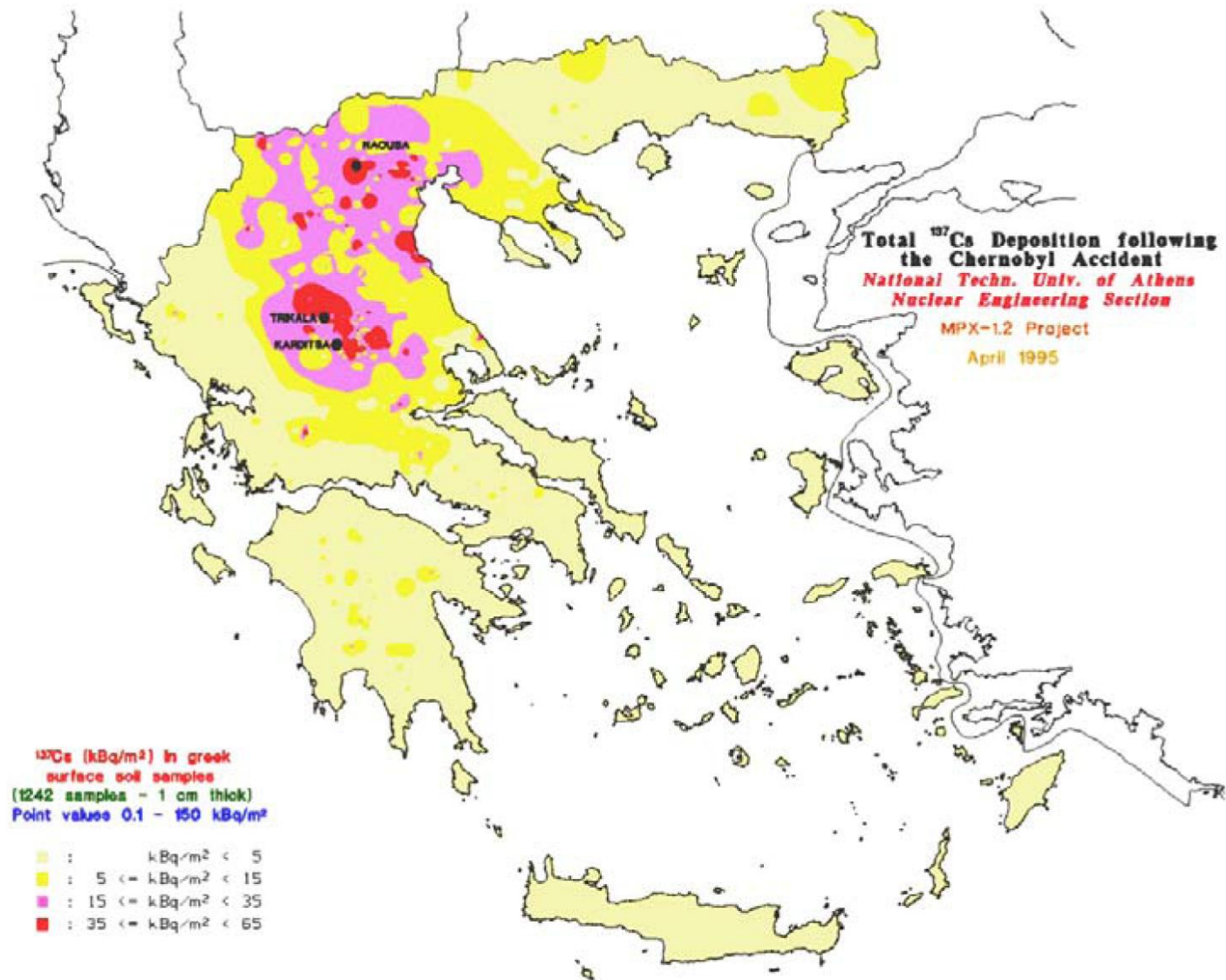
Νουκλίδιο	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Πτολεμαΐδα	Αλιβέρι	Μεγαλόπολη
<sup>131</sup> I	17	50	50-70	10-15	40
<sup>137</sup> Cs	2.5	12	19	1	12
<sup>134</sup> Cs	1.2	6	9	0.5	6
<sup>132</sup> Te	6-10	30	(30-40)*	(5-10)	(30)
<sup>140</sup> Ba	2.5	17	24	5	23
<sup>103</sup> Ru	9	27	47	2.5	34
<sup>106</sup> Ru	2	6	12	0.7	8
<sup>141</sup> Ce	0.6	1.9	2.2	0.6	5
<sup>144</sup> Ce	0.4	1.6	1.8	0.5	4
<sup>95</sup> Zr	0.4	0.5	0.9	0.5	2
<sup>90</sup> Sr	(0.3)	1.4	(2)	(0.1)	(1.2)

\*Οι τιμές μέσα στις παρενθέσεις αποτελούν εκτιμήσεις

Όριο επικινδυνότητας 5 kBq m<sup>-2</sup>

Μετρήσεις ραδιενεργούς επίπτωσης του ατυχήματος του Chernobyl στην Ελλάδα,  $\text{kBq m}^{-2}$ , μετά την ανάλυση 1242 δειγμάτων (προσαρμογή από [Petropoulos et al. 2001](#)).

<b>Νουκλίδιο</b>	<b>Αριθμός Δειγμάτων</b>	<b>Μέγιστη ραδιενέργεια εδάφους <math>\pm\sigma</math>, <math>\text{kBq m}^{-2}</math></b>
$^{137}\text{Cs}$	1242	$149.5\pm 0.1$
$^{134}\text{Cs}$	1211	$76.1\pm 0.1$
$^{125}\text{Sr}$	940	$4.56\pm 0.02$
$^{106}\text{Ru}$	787	$79.1\pm 0.4$
$^{144}\text{Ce}$	499	$32.9\pm 0.2$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	467	$7.98\pm 0.02$
$^{54}\text{Mn}$	409	$3.02\pm 0.02$
$^{95}\text{Zn}$	127	$20.1\pm 0.2$
$^{103}\text{Ru}$	84	$33.7\pm 2$
$^{141}\text{Ce}$	46	$46\pm 2$

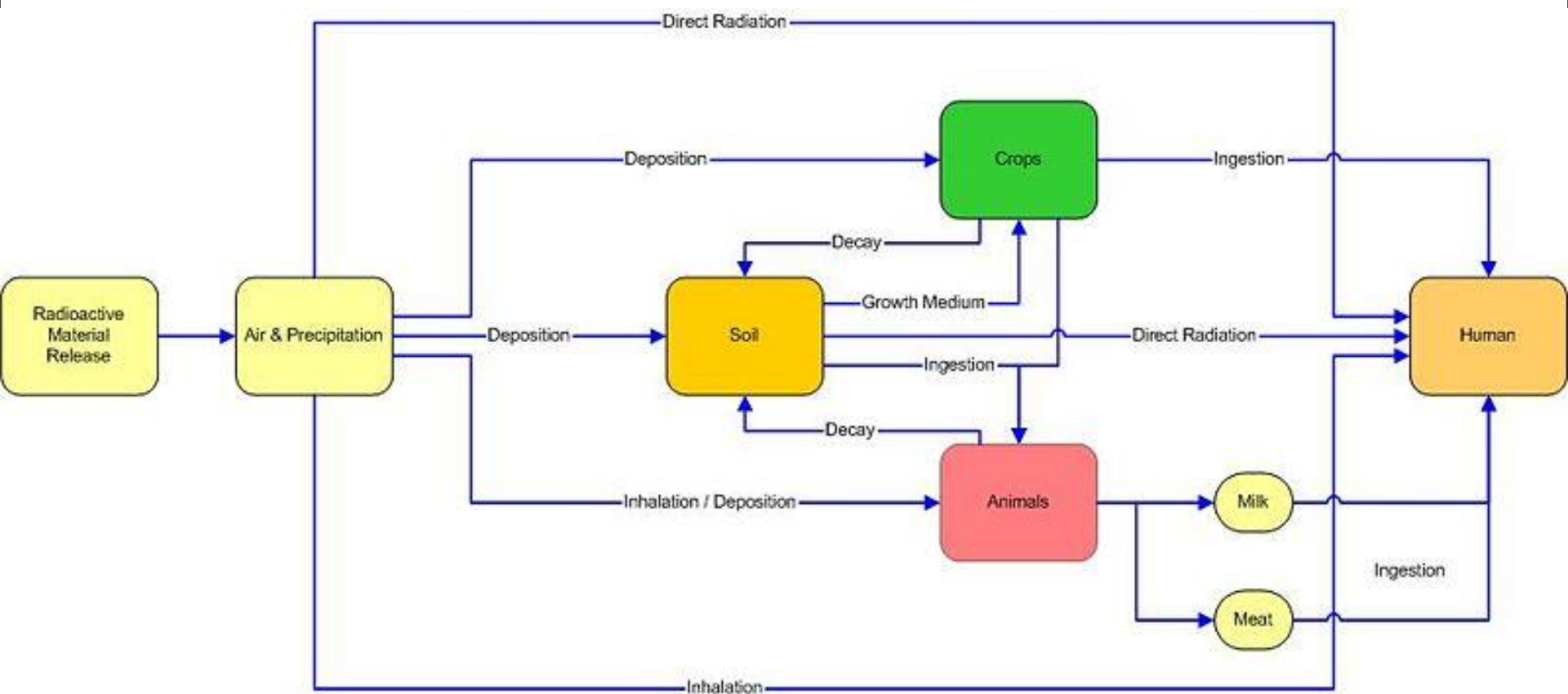


Ραδιενεργός επίπτωση του  $^{137}\text{Cs}$  στην Ελλάδα μετά το ατύχημα Chernobyl (πηγή:

Petropoulos et al. 2001)

Το καίσιο στη φύση απαντάται μόνο με σθένος 1 (I). Το καίσιο είναι πολύ ασθενές οξύ κατά Lewis και έχει περιορισμένη τάση να αλληλεπιδρά με άλλα οργανικά και ανόργανα ligands [Hughes and Poole 1989, US EPA 1999b]. Έτσι το  $\text{Cs}^+$  είναι το κυρίαρχο είδος στο στα υπόγεια ύδατα. Οι ενώσεις του ανόργανου καισίου είναι πολύ διαλυτές και οι αντιδράσεις καταβύθισης/συγκαταβύθισης έχουν περιορισμένο ρόλο στην κινητικότητα του καισίου στο περιβάλλον. Λόγω της διαλυτότητας, η μετανάστευσή του στη φύση σχετίζεται με την κατακράτησή του (retention) στα εδάφη και τα υπόγεια ύδατα η οποία ελέγχεται από αντιδράσεις ρόφησης/εκρόφησης και ιοντοανταλλαγής.







## **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

---

### **Στοιχεία επικοινωνίας**

---

Τηλεφωνικό κέντρο: 210 650 6700

Επικοινωνία με το κοινό: 210 650 6714

Fax: 210 650 6748

E-mail: [info@eeae.gr](mailto:info@eeae.gr)

Ο έλεγχος της ραδιενέργειας περιβάλλοντος στον ελλαδικό χώρο επιτυγχάνεται με ένα δίκτυο μετρήσεων και ελέγχων που περιλαμβάνει:

- μετρήσεις που προέρχονται από το τηλεμετρικό δίκτυο (αέρας, νερό, αιωρούμενα σωματίδια)
- εργαστηριακές μετρήσεις σε δείγματα χώματος, νερού, τροφίμων, φίλτρα αέρα κ.ά.

Επίσης, διενεργούνται μετρήσεις σε εισαγόμενα προϊόντα περιλαμβανομένων των τροφίμων, σε οικοδομικά υλικά κτλ.

Η Ελλάδα, εφαρμόζοντας το πρόγραμμα ελέγχου ραδιενέργειας περιβάλλοντος, ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις των Άρθρων 35 και 36 της συνθήκης EURATOM. Τα άρθρα αυτά προβλέπουν τον έλεγχο των επιπέδων ραδιενέργειας στον αέρα, το νερό και το χώμα, αλλά και την ενημέρωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα επίπεδα ραδιενέργειας στα οποία εκτίθεται το κοινό.

Το τηλεμετρικό δίκτυο ελέγχου ραδιενέργειας περιβάλλοντος στην Ελλάδα αποτελείται συνολικά από 31 σταθμούς μέτρησης:

- 24 σταθμοί περιλαμβάνουν ανιχνευτές μέτρησης του ρυθμού δόσης της ολικής-γ στον αέρα,
- 4 είναι σταθμοί μέτρησης ραδιενέργειας υδάτων στα ποτάμια της Βόρειας Ελλάδας, και
- 3 είναι ανιχνευτικά συστήματα ραδιενέργειας του αεροζόλ της ατμόσφαιρας.



## Μέτρηση ολικής-γ στον αέρα

Για τη μέτρηση της ολικής γ ακτινοβολίας στον αέρα χρησιμοποιούνται θάλαμοι ιονισμού υψηλής πίεσης (High Pressure Ionization Chambers - HPIC). Έχουν όγκο 8.5 lt και περιέχουν αέριο αργόν σε πίεση 25 Atm. Είναι ευαίσθητοι στην ενεργειακή περιοχή από 50 keV έως 10 MeV, μετρούν με ακρίβεια  $\pm 4\%$  για εύρος μετρήσεων του ρυθμού δόσης από 10 nSv/h έως 1 mSv/h.

### Θέσεις τηλεμετρικών σταθμών μέτρησης ολικής-γ στον αέρα

Νέα Φιλαδέλφεια	Αγία Παρασκευή	Σαλαμίνα	Άργος
Αλεξανδρούπολη	Κομοτηνή	Καβάλα	Σέρρες
Θεσσαλονίκη	Πτολεμαΐδα	Ιωάννινα	Κέρκυρα
Κεφαλληνία	Λάρισα	Λήμνος	Βόλος
Λαμία	Πάτρα	Μυτιλήνη	Σάμος
Μεγαλόπολη	Χανιά	Σούδα	Ρόδος

## Σταθμοί μέτρησης ραδιενέργειας υδάτων

Οι σταθμοί μέτρησης υδάτων ποταμών είναι εγκατεστημένοι στα ποτάμια Αξιός, Στρυμόνας, Νέστος και Έβρος. Ο κάθε σταθμός είναι συνδυασμός ενός ανιχνευτή μέτρησης ραδιενέργειας υδάτων ποταμών με ένα ανιχνευτή μέτρησης του ρυθμού ολικής-γ στον αέρα. Ο κάθε τηλεμετρικός σταθμός μέτρησης της ραδιενέργειας υδάτων ποταμών αποτελείται από τρία υποσυστήματα: ανιχνευτικό σύστημα αποτελούμενο από ανιχνευτή NaI (3" x 3"), δοχείο Marinelli και θωράκιση πάχους 5 cm Pb, σύστημα άντλησης υδάτων και σύστημα δειγματοληψίας υδάτων αποτελούμενο από 10 δοχεία χωρητικότητας 2 lt το καθένα.

## Συστήματα ανίχνευσης αεροζόλ της ατμόσφαιρας

Το σύστημα μέτρησης αεροζόλ της ατμόσφαιρας περιλαμβάνει μία αντλία παροχής  $\sim 6 \text{ m}^3/\text{h}$  για διέλευση του αέρα από μια σειρά φίλτρων. Στα φίλτρα κατακρατείται το αεροζόλ και με τη χρήση ανιχνευτών γίνεται η μέτρηση. Τα συστήματα αυτά είναι εγκατεστημένα σε τρεις θέσεις στη βόρεια Ελλάδα: στην Αλεξανδρούπολη, στις Σέρρες και στην Πτολεμαΐδα.



## Χαρακτηρισμός χώρων εξαιτίας φυσικών πηγών ακτινοβολίας

- Ελληνικοί Κανονισμοί Ακτινοπροστασίας (ΦΕΚ 216B, 5/3/2001), που είναι πλήρως εναρμονισμένοι με την Οδηγία 96/29/EURATOM 31/5/1996. Ισχύουν τα κάτωθι:
  - Παρ. 1.2.5.3, 4,5: εργασιακοί χώροι στους οποίους η παρουσία φυσικών πηγών ακτινοβολίας, συνεπάγεται σημαντική αύξηση της έκθεσης των εργαζομένων, η οποία δεν μπορεί να αγνοηθεί από την άποψη ακτινοπροστασίας.
  - Παρ. 1.2.5.7: έκθεση εξαιτίας της παρουσίας του ραδονίου και των θυγατρικών του σε εργασιακούς χώρους.
- Radiation Protection 107 “Establishment of reference levels for regulatory control of workplaces where materials are processed which contain enhanced levels of naturally-occurring radionuclides”, European Commission, 1999.
- Radiation protection 122 “Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption – Part II, Application of the Concepts of Exemption and Clearance to Natural Radiation Sources”, European Commission, 2001.

7

## **Έλεγχος ραδιενέργειας σε εισαγόμενα προϊόντα διατροφής από Τρίτες χώρες**

- Οδηγία 737/90 της Ευρατόμ για τα όρια Cs-137 & Cs-134 σε εισαγόμενα προϊόντα διατροφής και τροφοδοσίας από τρίτες χώρες.

### **Δομικά Υλικά**

- Radiation Protection 112 “Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials”, Ευρωπαϊκή Ένωση: 1999.

### **Ραδιενέργεια στο πόσιμο νερό**

- Υ2/2600/01 Κ.Υ.Α για την ποιότητα του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (ΦΕΚ 892B/01) σε εναρμόνιση προς την Κοινοτική Οδηγία 98/83 της 3ης Νοεμβρίου 1998, για το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση.

### **Ραδόνιο σε κατοικίες**

- Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στην σύσταση “Προστασία του πληθυσμού από την έκθεση στο ραδόνιο μέσα στα κτίρια” (90/143/Euratom), προτείνει τα κάτωθι επίπεδα δράσης για την συγκέντρωση ραδονίου:
  - ο Υπάρχουσες κατοικίες : 400 Bq/m<sup>3</sup>
  - ο Νεόδμητες κατοικίες : 200 Bq/m<sup>3</sup>

### **Ραδόνιο στο πόσιμο νερό**

- ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 28.12.2001 L 344/85), της 20ης Δεκεμβρίου 2001 περί της προστασίας του πληθυσμού από την έκθεση σε ραδόνιο στις παροχές πόσιμου νερού, 2001/928/Ευρατόμ.



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,  
Εμμανουήλ Δασενάκης 2015. Εμμανουήλ Δασενάκης. «Χημεία  
Περιβάλλοντος. Ραδιονουκλίδια και περιβάλλον». Έκδοση: 1.0. Αθήνα  
2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<http://opencourses.uoa.gr/courses/CHEM3/>.

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## **Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

Εικόνα 1: [διαφάνεια 2 αριστερά] Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://news.softpedia.com/news/Radiation-from-Japan-s-Fukushima-Nuclear-Plant-Detected-in-US-Waters-464795.shtml#sgal\\_0](http://news.softpedia.com/news/Radiation-from-Japan-s-Fukushima-Nuclear-Plant-Detected-in-US-Waters-464795.shtml#sgal_0). Πηγή: [news.softpedia.com](http://news.softpedia.com).

Εικόνα 2: [διαφάνεια 2 δεξιά] Alfa beta gamma radiation. CC-SA 3.0.

Σύνδεσμος:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alfa\\_beta\\_gamma\\_radiation.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alfa_beta_gamma_radiation.svg).

Πηγή: [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org).

Εικόνα 3: [διαφάνεια 14] α-διάσπαση. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://www.radmeasurementtech.com/Radiation\\_Theory.html](http://www.radmeasurementtech.com/Radiation_Theory.html). Πηγή: [www.radmeasurementtech.com](http://www.radmeasurementtech.com).

Εικόνα 4: [διαφάνεια 16] β-διάσπαση. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/cosmicengine/sun\\_nuclear.html](http://www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/cosmicengine/sun_nuclear.html). Πηγή: [www.atnf.csiro.au](http://www.atnf.csiro.au).



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/5)

Εικόνα 5: [διαφάνεια 18] Ακτινοβολίες α, β, γ. Copyrighted.

Εικόνα 6: [διαφάνεια 19] Χαρακτηριστικές ιδιότητες ακτινοβολιών. Copyrighted.

Εικόνα 7: [διαφάνεια 21] Χαρακτηριστικές ιδιότητες ακτινοβολιών. Copyrighted.

Εικόνα 8: [διαφάνεια 22] Χαρακτηριστικές ιδιότητες ακτινοβολιών. Copyrighted. Εικόνα 9: [διαφάνεια 25] Display of quartz dosimeter in units of Roentgen. CC-SA 3.0. Σύνδεσμος:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dosimeter\\_ablesung.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dosimeter_ablesung.jpg). Πηγή: [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org).

Εικόνα 10: [διαφάνεια 30] Χρόνος ημίσειας ζωής. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.units.miamioh.edu/ehso/radiationtraining/radiationproperties/index.htm>. Πηγή: [www.units.miamioh.edu](http://www.units.miamioh.edu).

Εικόνα 11: [διαφάνεια 34] Ακτινοβολία από φυσικές πηγές. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.slideshare.net/LayaJambi/eus2how-the-harmful-effects-of-radiation-can-affect-human-health-45149284>. Πηγή: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net).

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/5)

Εικόνα 12: [διαφάνεια 35] Ακτινοβολία από ανθρωπογενείς πηγές.

Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.slideshare.net/LayaJambi/eus2how-the-harmful-effects-of-radiation-can-affect-human-health-45149284>. Πηγή: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net).

Εικόνα 13: [διαφάνεια 37] Ακόμη μια ματιά στις πηγές. Copyrighted.

Σύνδεσμος:

<http://globalhealthsciences.ucsf.edu/sites/default/files/content/ghs/events/2012/japan-seward-radiation-and-heat.pdf>. Πηγή: [globalhealthsciences.ucsf.edu](http://globalhealthsciences.ucsf.edu).

Εικόνα 14: [διαφάνεια 45] Ραδόνιο, Rn. CC-SA 3.0. Σύνδεσμος:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rn-TableImage.png>. Πηγή: [commons.wikimedia.org](http://commons.wikimedia.org).

Εικόνα 15: [διαφάνεια 49 μέσο] Chernobyl disaster. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chernobyl\\_Disaster.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chernobyl_Disaster.jpg). Πηγή: Soviet Authorities.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/5)

Εικόνα 16: [διαφάνεια 49 δεξιά] Chernobyl burning-aerial view of core.

Copyrighted. Σύνδεσμος:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chernobyl\\_burning-aerial\\_view\\_of\\_core.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chernobyl_burning-aerial_view_of_core.jpg).

Πηγή: Soviet Authorities.

Εικόνα 17: [διαφάνεια 50] . Surface ground deposition of caesium-137 released in Europe after the Chernobyl accident. Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.unscear.org/docs/JfigXI.pdf>. Πηγή: [www.unscear.org](http://www.unscear.org).

Εικόνα 18: [διαφάνεια 51] Περιστατικά καρκίνου του θυρεοειδούς ως αποτέλεσμα του ατυχήματος στο Chernobyl. Copyrighted, after Jacob et al., 2005. Σύνδεσμος:

<https://www.med-ed.virginia.edu/courses/rad/radbiol/04stochastic/stoch-02-02.html>. Πηγή: [www.med-ed.virginia.edu](http://www.med-ed.virginia.edu).

Εικόνα 19: [διαφάνεια 52] Copyrighted.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/5)

Εικόνα 20: [διαφάνεια 55] Συνολική απόθεση Cs-137 στην Ελλάδα μετά το ατύχημα του Chernobyl. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://nuclear.ntua.gr/arcas/research/radmaps/cs137\\_total.el.html](http://nuclear.ntua.gr/arcas/research/radmaps/cs137_total.el.html). Πηγή: [nuclear.ntua.gr](http://nuclear.ntua.gr), Petropoulos et al., 2001.

Εικόνα 21: [διαφάνεια 57] Atmospheric radiation to human. Public Domain. Σύνδεσμος:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Radiation#/media/File:Atmospheric\\_radiation\\_to\\_human.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Radiation#/media/File:Atmospheric_radiation_to_human.jpg). Πηγή: [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org).

Εικόνα 22: [διαφάνεια 58] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://eeae.gr/gr/>. Πηγή: [eeae.gr](http://eeae.gr).

Εικόνα 23: [διαφάνεια 60] Το αυτόματο τηλεμετρικό σύστημα της ΕΕΑΕ για την επόπτευση της ραδιενέργειας περιβάλλοντος στην επικράτεια.

Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://eeae.gr/docs/president/\\_info\\_geniko2007.pdf](http://eeae.gr/docs/president/_info_geniko2007.pdf). Πηγή: [eeae.gr](http://eeae.gr).

Εικόνα 24: [διαφάνεια 62] Συστήματα ανίχνευσης αεροζόλ της ατμόσφαιρας. Copyrighted.