

# Ακτινοφυσική

- Ακτινοβολία
- Μη ιονίζουσα/ιονίζουσα ακτινοβολία
- Έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία
- Επίδραση ιονίζουσας ακτινοβολίας
- Προστασία από ιονίζουσα ακτινοβολία
- Πηγές ακτινοβολίας



# Ακτινοβολία

1. Ποια πηγή συνεισφέρει περισσότερο στη μέση δόση του πληθυσμού από ιονίζουσες ακτινοβολίες;  
α. η ηλιακή ακτινοβολία β. η κοσμική ακτινοβολία γ. το ραδόνιο
2. Μετά από ποια εξέταση ο εξεταζόμενος αποτελεί πηγή ακτινοβολήσης;  
α. μαστογραφία β. στεφανιογραφία γ. σπινθηρογράφημα οστών
3. Αν διπλασιαστεί η απόσταση από πηγή ακτινοβολίας πόσο θα μειωθεί η ένταση;  
α. κατά 4 φορές β. κατά 2 φορές γ. κατά 3 φορές
4. Τι είδους ακτινοβολία εκπέμπουν τα κινητά τηλέφωνα;  
α. ραδιενεργό β. μη ηλεκτρομαγνητική γ. ηλεκτρομαγνητική
5. Ποια από τις παρακάτω ακτινοβολίες δεν είναι ιονίζουσα;  
α. γ-ακτινοβολία β. υπέρυθη ακτινοβολία γ. β-ακτινοβολία
6. Τι γίνεται με τις ακτίνες X μετά από μια ακτινογραφία;  
α. εξαφανίζονται β. παραμένουν στο χώρο γ. παραμένουν στο ανθρώπινο σώμα
7. Ποιο είναι το υλικό που προστατεύει καλύτερα από μια πηγή που εκπέμπει γ/X;  
α. μόλυβδος β. πλαστικό γ. ξύλο

# Ακτινοβολία

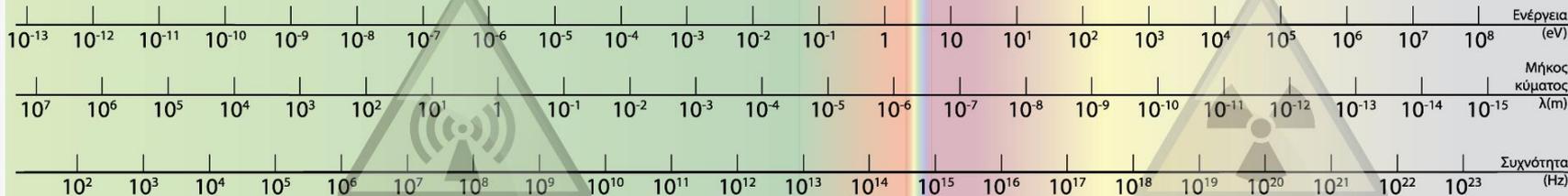


## Η ακτινοβολία... παντού γύρω μας



Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες

Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες



Χαμηλές Συχνότητες

Ραδιοκύματα / Μικροκύματα

Υπέρυθρη

Υπεριώδης

Ακτίνες Χ

Ακτίνες γ





# Ακτινοβολία

**Ακτινοβολία:** Η διάδοση ενέργειας στο χώρο με σωματίδια ή κύματα

**Πηγές ακτινοβολίας:** Φυσικές (φυσικά ραδιοϊσότοπα, ήλιος, κοσμική ακτινοβολία)  
Τεχνητές (ιατρικά μηχανήματα, λαμπτήρες, ραντάρ, κεραίες)

**Ανίχνευση:** Αισθήσεις (ορατό φως και υπέρυθρες ακτινοβολίες) και ανιχνευτές

**Χαρακτηριστικά:** Μήκος κύματος ή συχνότητα και ενέργεια

**Επιδράσεις στην ύλη:** Ιονίζουσα (ιονισμό ατόμων - X, γ, e, p, n)

Μη ιονίζουσα (ηλεκτρικές, χημικές, θερμικές - ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας, υπεριώδης)

**Επιδράσεις στον άνθρωπο:** Ευεργετικές ή βλαβερές, ανάλογα με το είδος, την ένταση και την ενέργεια.

# Μη Ιονίζουσα Ακτινοβολία



Μη ιονίζουσα (ηλεκτρομαγνητική): σχετικά μικρή ενέργεια δεν έχει ηλεκτρικές, χημικές, θερμικές επιδράσεις.

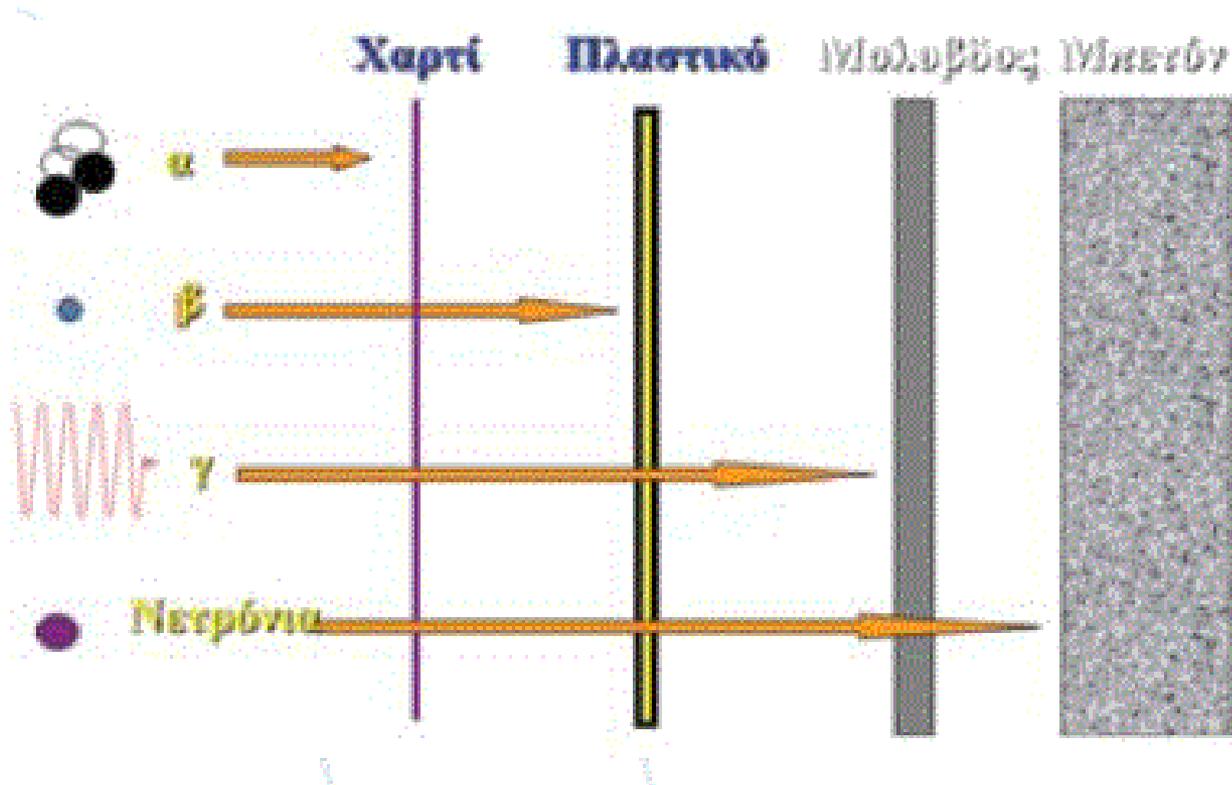
- Στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (γήινο μαγνητικό πεδίο)
- Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (50 Hz) από ηλεκτρικές συσκευές, υποσταθμούς, γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- Ραδιοκύματα και μικροκύματα από κεραιές τηλεπικοινωνιών, κεραιές ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, φούρνους μικροκυμάτων
- Ορατή, υπεριώδης και υπέρυθρη ακτινοβολία.

# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

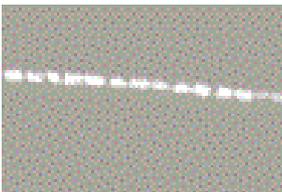


- Ιονίζουσα: ενέργεια ικανή να προκαλέσει ιονισμό των ατόμων, να διασπάσει χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες
- Ακτινοβολία α: Πυρήνες ηλίου ( $2p+2n$ )
  - Μικρή διεισδυτικότητα (φύλλο χαρτί)
  - Δύσκολα ανιχνεύσιμη
  - Σημαντικός κίνδυνος εσωτερικής έκθεσης
- Ακτινοβολία β: Ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια
  - Πιο διεισδυτική από την ακτινοβολία α (φύλλα πλαστικού ή λεπτά μεταλλικά φύλλα)
  - Ο βαθμός ανίχνευσης εξαρτάται από την ενέργεια των σωματιδίων
  - Κίνδυνος εξωτερικής έκθεσης ματιών/δέρματος, εσωτερικής έκθεσης
- Ακτινοβολία X ή γ: Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
  - Μεγάλη διεισδυτικότητα (χάλυβας, μόλυβδος, σκυρόδεμα)
  - Ανιχνεύεται ευκολότερα από την ακτινοβολία α και β.
  - Κίνδυνος εξωτερικής και εσωτερικής έκθεσης.

# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

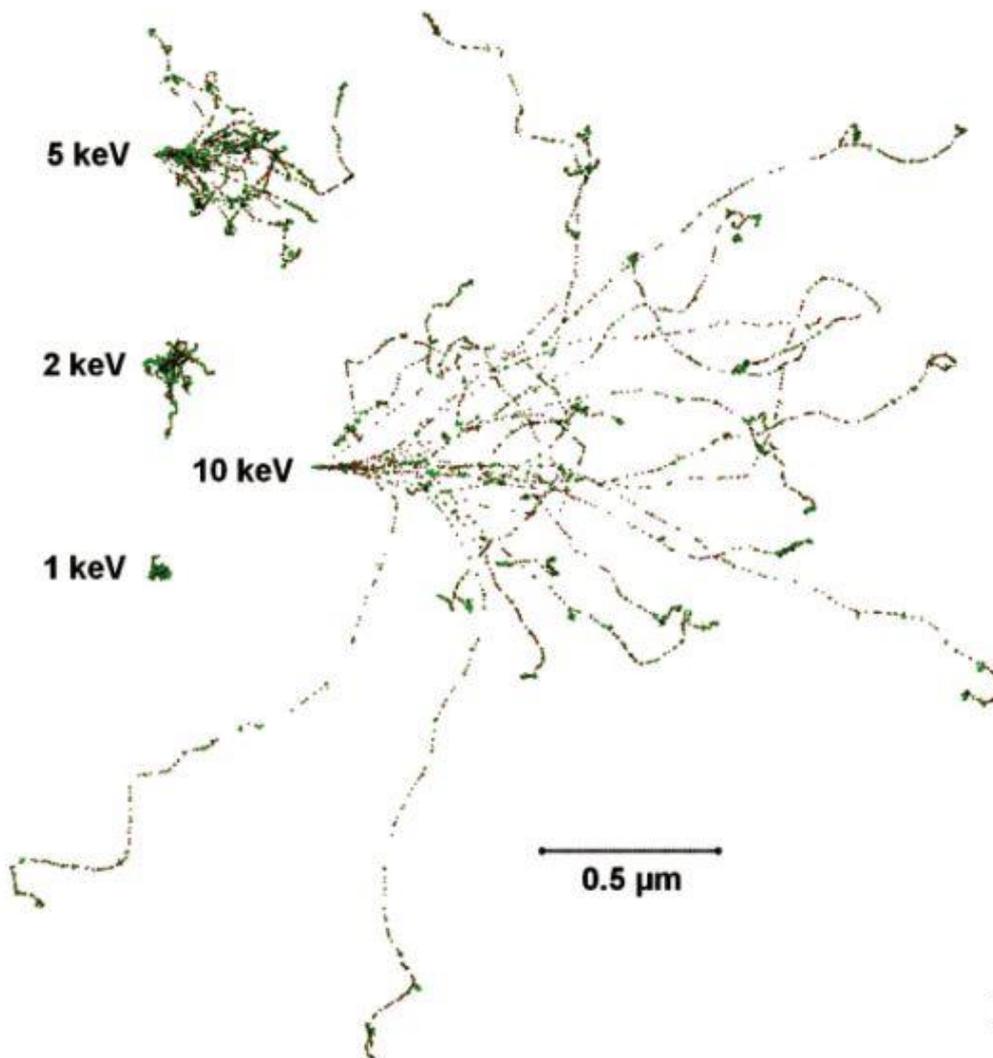


# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

<b>Pictures</b> <small>© Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</small>	<b>Particle</b>	<b>Explanation</b>
	<b>muon or anti-muon</b>	<b>Thin straight tracks</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fast particles with high kinetic energy</li> <li>- they ionise molecules without scattering</li> <li>- high energy muons, electrons or their corresponding anti-particles</li> <li>- source: secondary cosmic particles</li> </ul>
	<b>electron or positron</b>	
	<b><math>\alpha</math> particle system</b>	<b>Thick straight tracks (approx. 5 cm):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alpha particle systems (<math>2p2n</math>)</li> <li>- massive particle systems with high "ionisation density" (for alpha: 1 MeV/cm)</li> <li>- source: Radon-222 gas, natural radiation</li> </ul>

# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

## Electrons

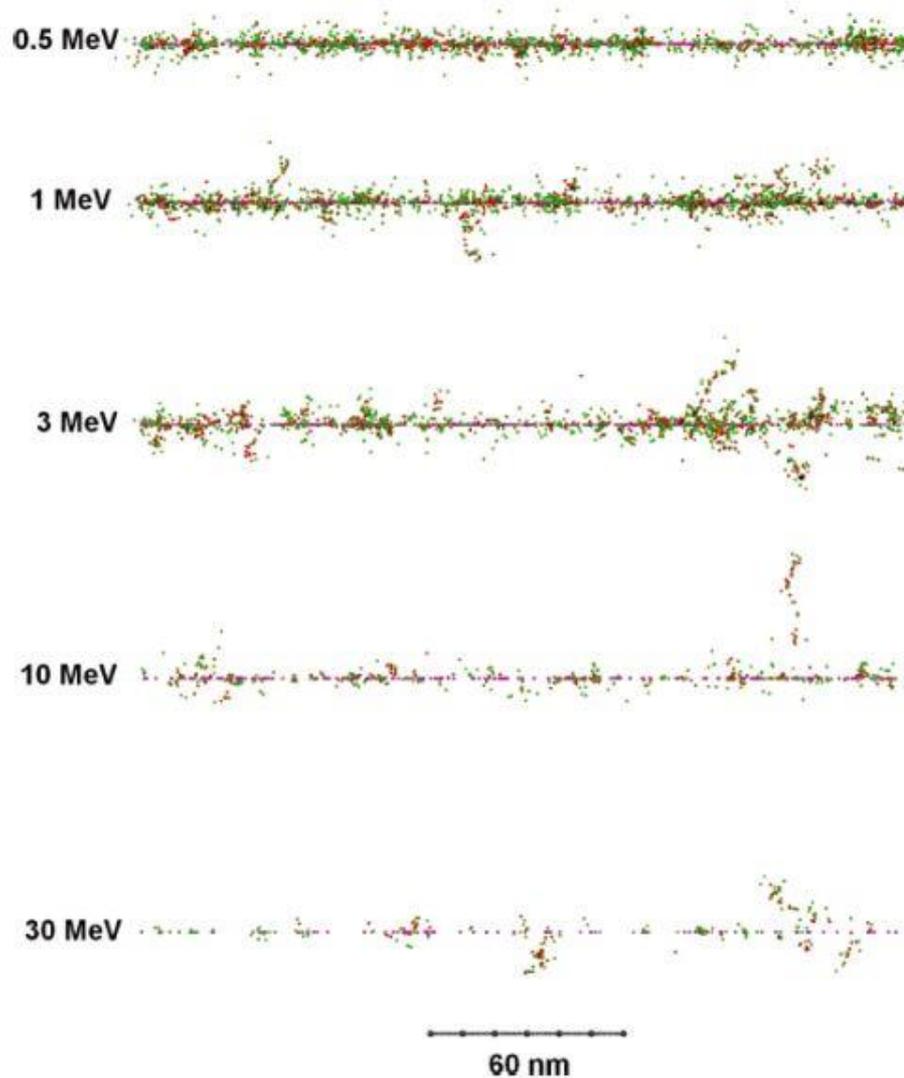


ICRU 86

Figure 2.3. Twenty randomly generated electron tracks for initial kinetic energies of 1 keV, 2 keV, 5 keV, and 10 keV. Red points represent ionizations, and green points represent excitations. All tracks of the same energy start at the same point and initially proceed in the same direction (left to right in the figure).

# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

## Alphas



ICRU 86

Figure 2.5. Calculated 230 nm track segments for 0.5 MeV, 1 MeV, 3 MeV, 10 MeV, and 30 MeV alpha particles in water. Red points represent ionizations, and green points represent excitations.

# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Οι τεχνητές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών ανακαλύφθηκαν στα τέλη του 19ου αιώνα.

Wilhelm Roentgen 1895: κατά τη διάρκεια πειραμάτων με τους καθοδικούς σωλήνες κενού ακτινογράφησε (ακτίνες X) το χέρι της συζύγου του

Επαναστατική ανακάλυψη για τον τομέα της ιατρικής

Η συστηματική έρευνα οδήγησε :

- στην εκτεταμένη χρήση τους
- στη λήψη προστατευτικών μέτρων



# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

**Απορροφούμενη Δόση:** Ενέργεια που απορροφάται από το υλικό προς τη μάζα του  $D = E/m$  σε Gy ή Joule/kg

**Ισοδύναμη Δόση:** Το γινόμενο της Απορροφούμενης Δόσης  $D$  επί έναν συντελεστή ( $W_R$ ), που εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας:  $H_T = D \cdot W_R$  σε Sievert (Sv)

Είδος ακτινοβολίας	Συντελεστής στάθμισης ακτινοβολίας $W_R$
Φωτόνια ( $\chi$ και $\gamma$ ) όλων των ενεργειών	1
Ηλεκτρόνια	1
Πρωτόνια	2-5
Σωματία $\alpha$ , θραύσματα σχάσης, βαρέα ιόντα	20
Νετρόνια	5-20 ανάλογα την ενέργεια

**Ενεργός Δόση:** Το γινόμενο της Ισοδύναμης Δόσης επί έναν συντελεστή ( $W_T$ ) που εξαρτάται από την ευαισθησία του κάθε ιστού στην ακτινοβολία  $E_{\text{eff}} = H_T \cdot W_T$  σε Sievert (Sv)

Ιστός	Συντελεστής $W_T$
Μυελός των οστών, κόλον, πνεύμονες, στομάχι, μαστός, επινεφρίδια, εξωθωρακική περιοχή, χοληδόχος, καρδιά, νεφροί, λεμφικοί αδένες, μύες, επιθήλιο στόματος, πάγκρεας, προστάτης, λεπτό έντερο, σπλήνας, θύμος αδένας, μήτρα / τράχηλος	0,12
Γονάδες	0,08
Ουροδόχος κύστη, οισοφάγος, ήπαρ, θυρεοειδής	0,04
Επιφάνεια οστών, εγκέφαλος, σιελογόνοι αδένες, δέρμα	0,01



# Έκθεση σε Ιονίζουσα Ακτινοβολία

**Φυσικό περιβάλλον (έδαφος, ατμόσφαιρα):**

- Στα πετρώματα, στο νερό, στον αέρα υπάρχουν φυσικά ραδιενεργά στοιχεία (κάλιο, ράδιο, ουράνιο, ραδόνιο)

**Κοσμική ακτινοβολία (ήλιος, αστρικές πηγές)**

- Αυξάνεται κατά τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας.
- Απορροφάται μερικώς ή ολικώς από τη γήινη ατμόσφαιρα

**Τροφική αλυσίδα (φυσική πηγή πρόσληψης ραδιενεργών στοιχείων).**

- $^{40}\text{K}$  (μπανάνες)

**Ιατρική για διάγνωση (ακτινογραφία, αξονική) και θεραπεία (καρκίνου)**

**Βιομηχανία (ραδιογράφιση, αποστείρωση υλικών, έλεγχο ποιοτικών παραμέτρων)**

**Παραγωγή ενέργειας (πυρηνικά εργοστάσια)**

**Γεωργία, Έρευνα, Εκπαίδευση.**



# Τρόποι Έκθεσης σε Ιονίζουσα Ακτινοβολία

**Εξωτερική:** Κοσμική ακτινοβολία, ακτινογραφίες, πετρώματα

Τα φωτόνια λόγω μεγάλης διεισδυτικότητας φτάνουν σε μεγάλο βάθος

Τα ηλεκτρόνια με μικρότερο βάθος διείσδυσης προκαλούν επιφανειακές βλάβες.

Τα σωματίδια-α με μικρή διεισδυτική ικανότητα απορροφώνται εξωτερικά (ρούχα, δέρμα).

**Εσωτερική:** Ραδιοϊσότοπα, νερό, τροφή, αέρας, ραδιοφάρμακα

Τα σωματίδια-α και τα ηλεκτρόνια λόγω μικρής διεισδυτικότητας τους απορροφώνται τοπικά μέσα στα όργανα προκαλώντας σημαντικές βλάβες

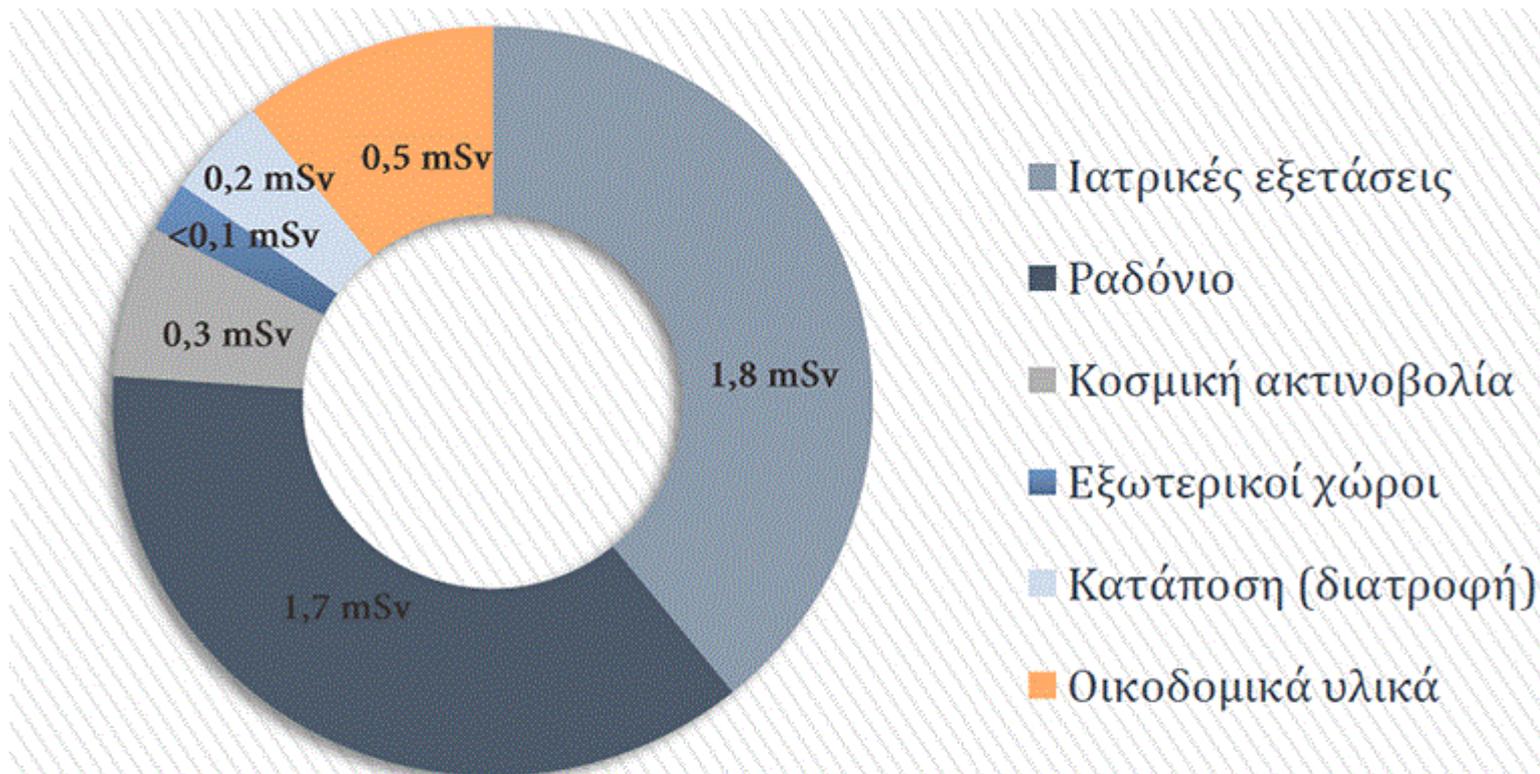
Τα φωτόνια μπορούν να διαφύγουν χωρίς να αλληλεπιδράσουν

# Έκθεση σε Ιονίζουσα Ακτινοβολία

**Μέση ετήσια ενεργός δόση ανά άτομο στην Ελλάδα: 4,5 mSv**

**Φυσικές πηγές ακτινοβολίας: 2,7 mSv**

**Διαγνωστικές ιατρικές εξετάσεις: 1,8 mSv**



*ΠΡΙΣΜΑ - Ολιστική εκτίμηση της ακτινικής επιβάρυνσης του πληθυσμού και ανάπτυξη εθνικού πληροφοριακού συστήματος για τις ακτινοβολίες (ΓΓΕΤ, Δράση ΚΡΗΠΙΣ, ΕΣΠΑ, 2007-2013)*

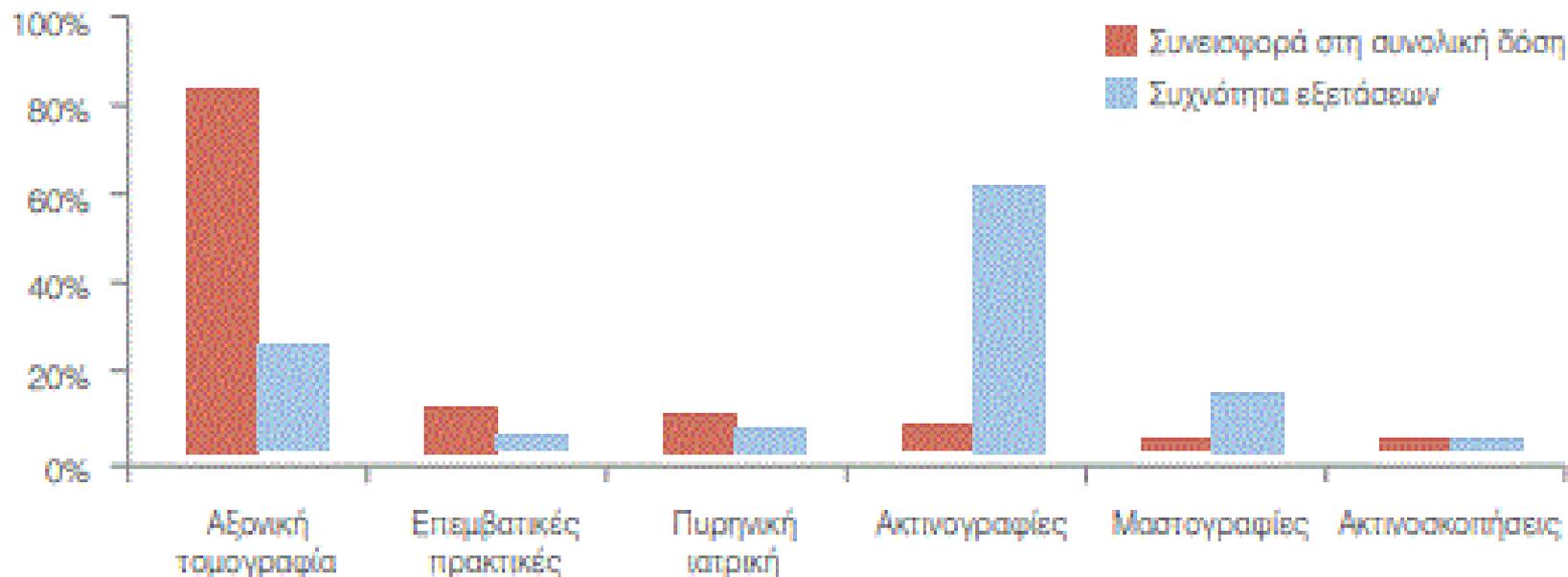
# Έκθεση σε Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Παραδείγματα ενεργών δόσεων για συνήθεις εξετάσεις:

Εξέταση	Ενεργός δόση εξέτασης (mSv)
Αξονική τομογραφία θώρακος	9
Αξονική τομογραφία άνω - κάτω κοιλίας	18
Αξονική τομογραφία εγκεφάλου	2.4
Ακτινογραφία θώρακος	< 0.1
Ακτινογραφία οσφυϊκής μοίρας σπονδυλικής στήλης (ΟΜΣΣ)	1
Ακτινογραφία κρανίου	0.03
Ακτινογραφία άνω ή κάτω άκρων	0.001
Κυστεογραφία (IVU)	3
Μαστογραφία	0.3
Στεφανιογραφία	14
Αγγειοπλαστική Στεφανιαίων (PTCA)	31
Εμφύτευση βηματοδότη	4
Σπινθηρογράφημα οστών με Tc-99m	3.8
Σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου με κόπωση με Tc-99 (MIBI)	2.5
Σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου με κόπωση με Tl-201	15
PET/CT με FDG, F-18	6.6

# Έκθεση σε Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Συχνότητα εξετάσεων και συνεισφορά τους στη συνολική δόση  
 Συνολική μέση ενεργός δόση ανά άτομο



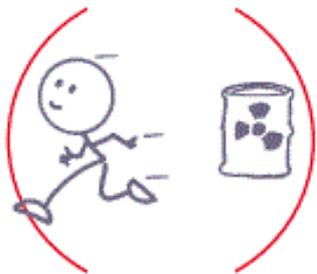


# Ιονίζουσα Ακτινοβολία

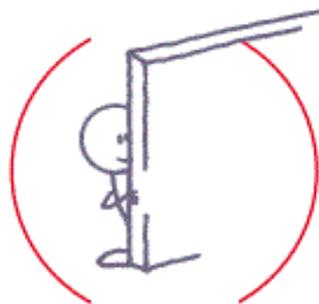
Όριο ετήσιας έκθεσης σε ακτινοβολία του γενικού πληθυσμού: 1 mSv

Όριο ετήσιας έκθεσης σε ακτινοβολία των επαγγελματικά εκτειθέμενων : 20 mSv

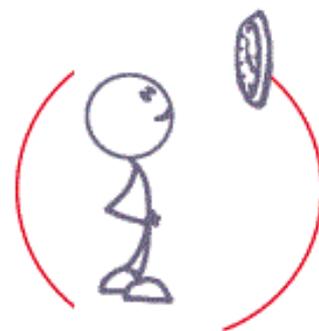
Η ένταση της ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή



Κατάλληλη θωράκιση ανάλογα με το είδος της ακτινοβολίας (π.χ. κατάλληλο πάχος μπετόν / μολύβδου για ακτινοβολία Χ ή γ)



Όσο το δυνατό μικρότερος χρόνος εργασίας ή παραμονής σε χώρους με ακτινοβολία



# Ραδόνιο

Φυσικό ραδιενεργό αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο και αδρανές

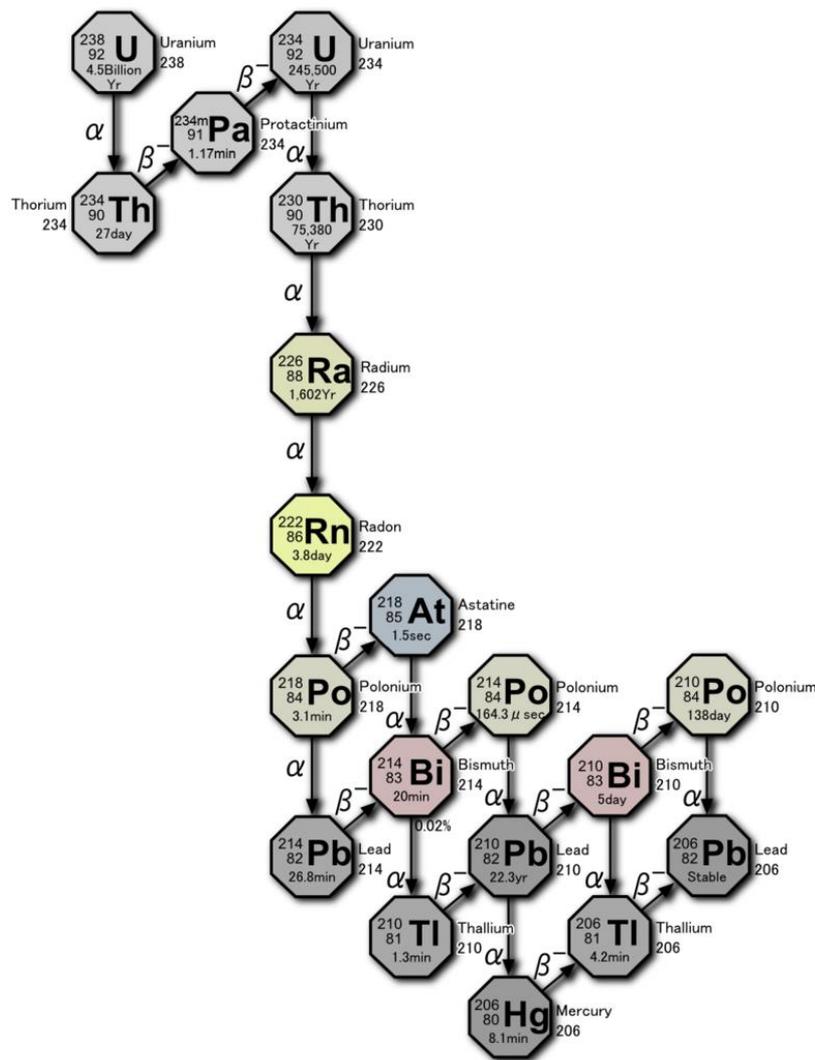
Προέρχεται από τη διάσπαση του ραδίου (θυγατρικό του ουρανίου)

Συναντάται στο έδαφος, στα πετρώματα (στα προερχόμενα από αυτά οικοδομικά υλικά), στα κτίρια, στο νερό

Καταλήγει στους πνεύμονες μέσω της αναπνοής

Σε αυτό αποδίδεται το μεγαλύτερο μέρος της ετήσιας δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο οργανισμός μας

Η υψηλή συγκέντρωση ραδονίου ενέχει σημαντικό κίνδυνο για την υγεία



Πηγή: Wikipedia

# Ραδόνιο

01

**Rn-222**

Το ραδόνιο είναι φυσικό ραδιενεργό αέριο που εισέρχεται στην κατοικία μας ή στον χώρο εργασίας μας από το υπέδαφος και τα οικοδομικά υλικά.

02



Το ραδόνιο συγκαταλέγεται ανάμεσα στους καρκινογόνους παράγοντες και κατατάσσεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στην ίδια κατηγορία με το τσιγάρο.

03

Οι συγκεντρώσεις ραδονίου που ανιχνεύονται στην Ελλάδα είναι συγκρίσιμες με αυτές που παρατηρούνται σε άλλες χώρες.

**1,7 mSv**  
η ετήσια δόση  
ακτινοβολίας από  
το ραδόνιο στην  
Ελλάδα

04



Υπάρχουν απλές λύσεις για τη μείωση των συγκεντρώσεων του ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους.

# Ραδόνιο

Η συγκέντρωση ραδονίου στα κτίρια επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- η θερμοκρασία
- οι καιρικές συνθήκες
- ο ρυθμός ροής του αέρα εντός της κατοικίας
- ο ρυθμός εκροής ραδονίου από το έδαφος
- το είδος θεμελίωσης της οικοδομής πάνω στο έδαφος
- το ύψος του κτιρίου
- η εκροή του ραδονίου από τα οικοδομικά υλικά
- ο εξαερισμός
- η διαφορά πίεσης ανάμεσα στο εσωτερικό του κτιρίου και στο εξωτερικό περιβάλλον.

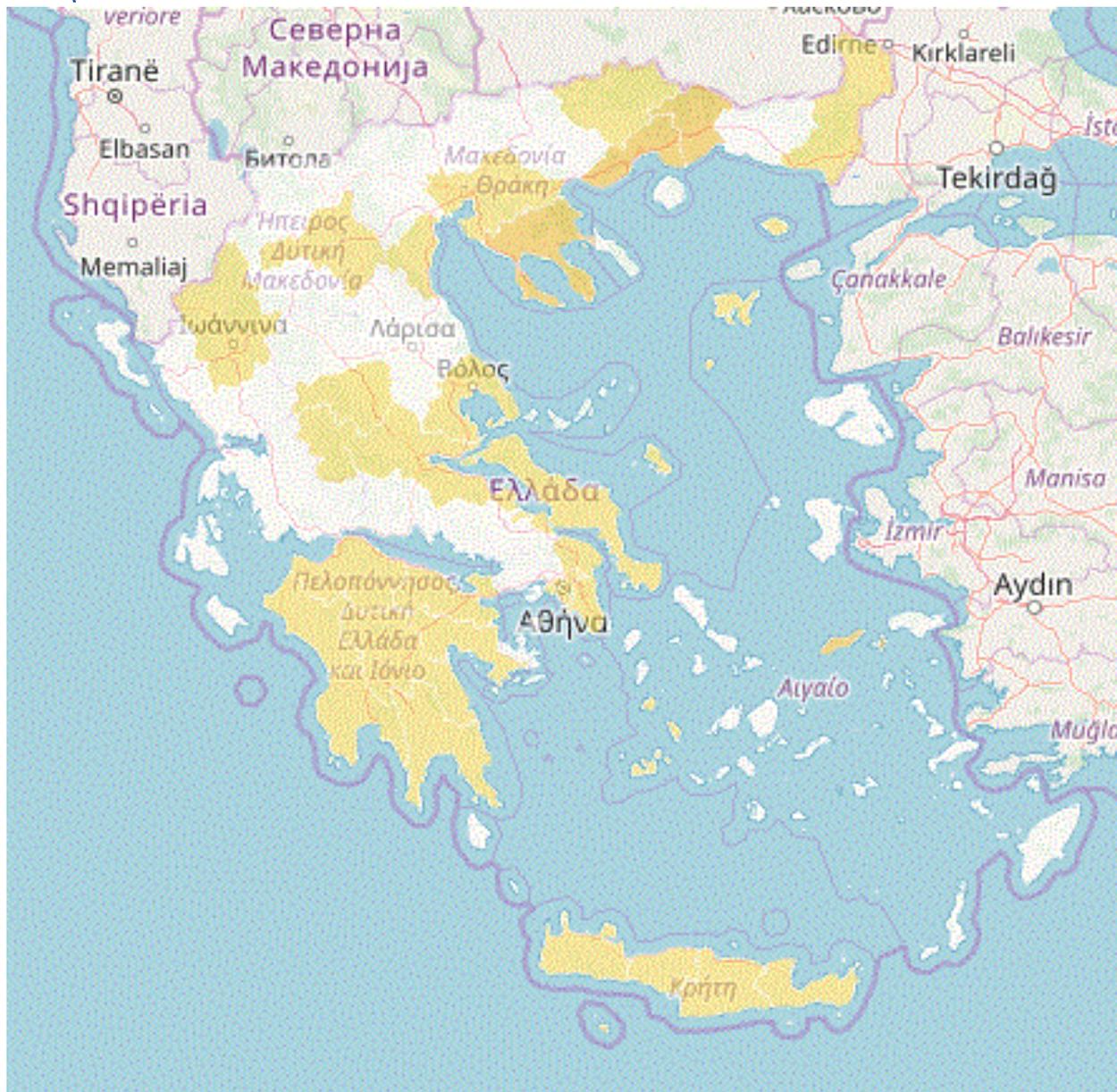


# Ραδόνιο



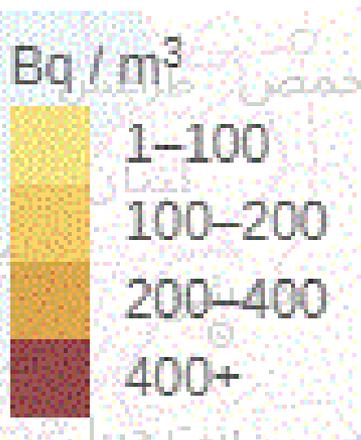
Πηγή: Minnesota Department of Health

# Ραδόνιο



Χάρτης συγκέντρωσης ραδονίου

Η ακτινοβολία του εδάφους σε δεδομένη θέση εξαρτάται άμεσα από τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής.





# Επίδραση Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

Έκθεση σε πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει:

- Άμεση καταστροφή κυττάρων, οργάνων και συστημάτων ακόμα και θάνατο (μεγάλα ραδιολογικά ή πυρηνικά ατυχήματα)
- Πιθανότητα μελλοντικής εμφάνισης καρκίνου (στατιστικό φαινόμενο ανάλογο της δόσης)
- Βλάβες στο γενετικό υλικό του κυττάρου που συνδέονται με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης

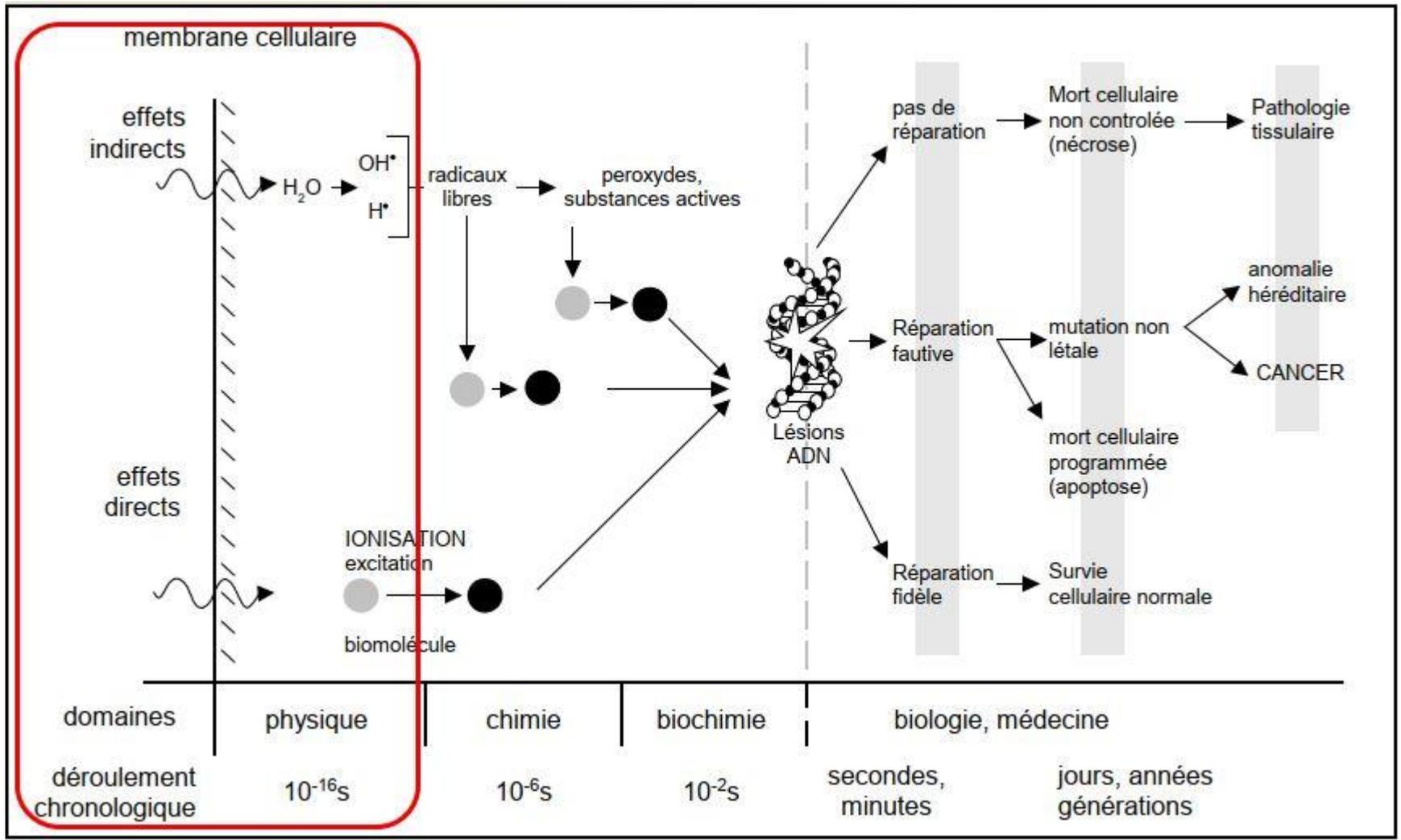
Οι ακτινοβολίες συγκαταλέγονται στους 4000 και πλέον καταγεγραμμένους καρκινογόνους παράγοντες (κατά κανόνα χημικά και φαρμακευτικά προϊόντα).

Στην κλίμακα επικινδυνότητας, οι ακτινοβολίες κατατάσσονται στους σχετικά ήπιους καρκινογόνους παράγοντες.

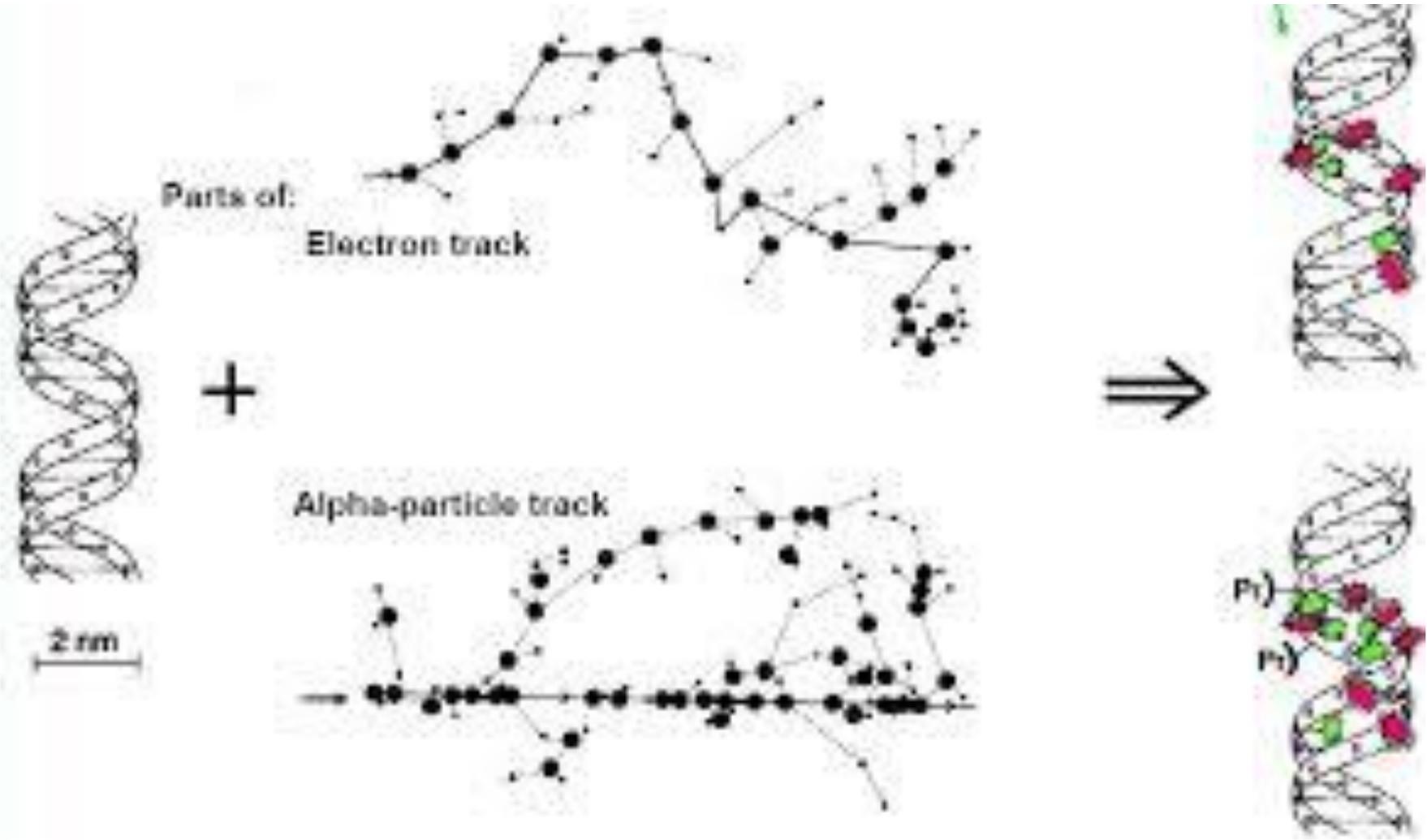
Το δοσιμετρικό μέγεθος που συνδέεται με τον ενδεχόμενο κίνδυνο για τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα της ακτινοβολίας είναι η ενεργός δόση.

Η ενεργός δόση εξαρτάται από την απορροφούμενη στο ανθρώπινο σώμα ενέργεια, το είδος της ακτινοβολίας και το είδος του ακτινοβολούμενου ιστού.

# Επίδραση Ιονίζουσας Ακτινοβολίας



# Επίδραση Ιονίζουσας Ακτινοβολίας



Πηγή: EPFL

# Επίδραση Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

## Καθορισμένα αποτελέσματα

Προέρχονται από τη θανάτωση των κυττάρων σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μετά την ακτινοβολήση

Συμβαίνουν μετά την υπέρβαση της δόσης κατωφλίου

Η σοβαρότητα της βλάβης αυξάνεται με τη δόση



Βλάβη	Συμπτώματα	Δόση κατωφλίου	Χρόνος εκδήλωσης
Σύνδρομο αιμοποιητικού συστήματος	Λεμφοπενία, αιμορραγία, αναιμία	2 Gy	24 ώρες
Σύνδρομο γαστρεντερικού συστήματος	Ναυτία, εμετός, διάρροια, έλκη, εντερική αιμορραγία	7 Gy	3-10 ημέρες
Σύνδρομο κεντρικού νευρικού συστήματος	Εγκεφαλικό οίδημα, μείωση του ενδοαγγειακού όγκου αίματος	50 Gy	Θάνατος σε 1-4 ημέρες

**Ακτινογραφία θώρακος είναι 0,0005 Gy - Ολόσωμη αξονική τομογραφία 0,015 Gy**

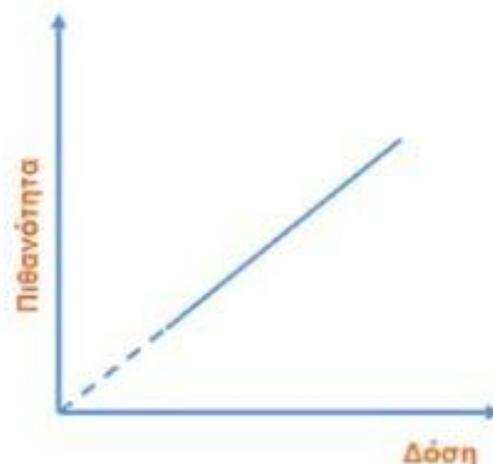
# Επίδραση Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

## Στοχαστικά αποτελέσματα

Προέρχονται από μεταλλάξεις των κυττάρων που προκαλούν βλάβες μετά από 20-30 χρόνια ή δεν εμφανίζονται καθόλου

Δεν υπάρχει κατώφλι εμφάνισης, υπάρχει η πιθανότητα που ξεκινά από πολύ μικρές δόσεις

Ανάπτυξη καρκίνου, λευχαιμίας και μετάδοσης γενετικών ανωμαλιών που μπορούν να προκληθούν και από άλλους παράγοντες (περιβάλλον, διατροφή, τρόπος ζωής, κληρονομικότητα)



Η πιθανότητα εμφάνισης της βλάβης αυξάνεται με τη δόση

Βλάβη	Χρόνος	Αύξηση πιθανότητας εμφάνισης	Φυσιολογική πιθανότητα εμφάνισης
Θανατηφόρος καρκίνος	20-30 χρόνια	5% ανά Sv	25%
Μη θανατηφόρος καρκίνος	20-30 χρόνια	1% ανά Sv	
Λευχαιμία	8-10 χρόνια	0,5% ανά Sv	0,015%
Γενετικά αποτελέσματα	Επόμενες γενεές	1,3% ανά Sv	3-6%



# Προστασία από την ακτινοβολία

**Ακτινοπροστασίας:** η παροχή ασφάλειας για την έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία

Οι αρχές της ακτινοπροστασίας:

**Αρχή της αιτιολόγησης:** η έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία, πρέπει να αποφέρει μεγαλύτερο όφελος, από την ενδεχόμενη προκαλούμενη βλάβη.

**Αρχή της βελτιστοποίησης:** όλες οι πηγές και τα μηχανήματα παραγωγής ακτινοβολιών πρέπει να προσφέρουν, την καλύτερη δυνατή προστασία και ασφάλεια, έτσι ώστε η πιθανότητα μη αναμενόμενης έκθεσης και ο αριθμός των εκτιθέμενων ατόμων, να είναι όσο το δυνατό μικρότερα.

**Αρχή των ορίων δόσεων:** Η έκθεση σε ακτινοβολία, στα πλαίσια των εγκεκριμένων πρακτικών, πρέπει να υπόκεινται σε όρια δόσεων ή όρια κινδύνων.

# Δοσίμετρα

Προσωπικό δοσίμετρο:

- μέτρηση ακτινοβολίας  $\gamma$  και  $\beta$
- μέτρηση της ακτινοβολίας νετρονίων



Λειτουργικό/ενεργό δοσίμετρο:

- μέτρηση ακτινοβολίας  $\gamma$  και  $X$
- άμεση ένδειξη δόσης
- ακουστική ένδειξη της στάθμης ακτινοβολίας



# Πηγές ακτινοβολίας



Το σήμα της ραδιενέργειας



Σήμανση ειδικών δοχείων μεταφοράς ραδιενεργών πηγών

Ραδιενέργεια είναι η ιδιότητα ορισμένων πυρήνων να διασπώνται αυθόρμητα με παράλληλη εκπομπή ακτινοβολίας.

Οδηγίες προστασίας :

1. Μην αγγίζετε
2. Απομακρυνθείτε από το αντικείμενο
3. Οριοθετείστε – αποκλείστε το χώρο σε ακτίνα 5 μέτρων
4. Ειδοποιείτε τον υπεύθυνο του χώρου την ΕΕΑΕ



Βιομηχανικές πηγές Cs-137



Θωρακισές απεμπλουτισμένου ουρανίου



Καντράν με Ra-226



Συσκευή μέτρησης πυκνότητας ροής με πηγή Cs-137



Πυρανχνευτής ιονισμού με ραδιενεργό υλικό



Αλεξικέρανα ιονισμού με ραδιενεργά στοιχεία



Βιομηχανικές πηγές Cs-137 και Co-60



Βιομηχανική πηγή μέτρησης στάθμης με Co-60



Σταθερές κλειστές ραδιενεργές πηγές εντός θωράκισης



Κλειστή πηγή Kr-85 (β ακτινοβολία) εντός της θωράκισης της



Φορητή συσκευή μέτρησης πυκνότητας και υγρασίας εδάφους με πηγές Am-241 και Cs-137



Φορητή συσκευή ραδιογραφίσεων



Διάταξη με κλειστή πηγή Am-241 για τη μέτρηση στάθμης υγρού

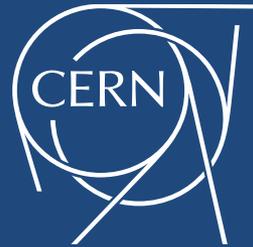
**Το υλικό της παρουσίασης αντλήθηκε από  
την ιστοσελίδα της  
Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας**



[www.cern.ch](http://www.cern.ch)

**<https://www.eeae.gr>**

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!



[www.cern.ch](http://www.cern.ch)

Ερωτήσεις;



**Potassium-40** ( $^{40}\text{K}$ ) is a radioactive isotope of potassium which has a long half-life of  $1.251 \times 10^9$  years. It makes up 0.012% (120 ppm) of the total amount of potassium found in nature. Potassium-40 is a rare example of an isotope that undergoes both types of beta decay. In about 89.28% of events it decays to calcium-40 ( $^{40}\text{Ca}$ ) with emission of a beta particle ( $\beta^-$ , an electron) with a maximum energy of 1.31 MeV and an antineutrino. In about 10.72% of events it decays to argon-40 ( $^{40}\text{Ar}$ ) by electron capture (EC), with the emission of a neutrino and then a 1.460 MeV gamma ray. The radioactive decay of this particular isotope explains the large abundance of argon (nearly 1%) in the Earth's atmosphere, as well as prevalence of  $^{40}\text{Ar}$  over other isotopes. Very rarely (0.001% of events) it will decay to  $^{40}\text{Ar}$  by emitting a positron ( $\beta^+$ ) and a neutrino.