



# ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

**eclass: MED808**

**Π. Παπαγιάννης**

Αν. Καθηγητής,  
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,  
Ιατρική Σχολή Αθηνών.

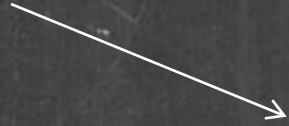
Γραφείο 21

210-746 2442

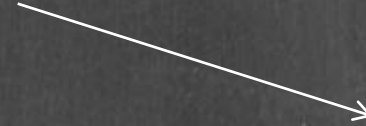
[ppapaqi@phys.uoa.gr](mailto:ppapaqi@phys.uoa.gr)

## Στάδια βιολογικής επίδρασης

**Φυσικό**



**Χημικό**



**Βιολογικό**

## Στάδια βιολογικής επίδρασης

Επίπεδο οργάνωσης:	Στάδιο	Χρονική κλίμακα (sec)	Γεγονότα και διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα
ατομικό	Φυσικό	$10^{-18}$ – $10^{-15}$ (asec – fsec)	απορρόφηση ενέργειας, διεγέρσεις και ιονισμοί
	Φυσικο-χημικό	$10^{-15}$ – $10^{-8}$ (fsec – nsec)	αναδιάταξη διεγερμένων και ιονισμένων μορίων, σχηματισμός δραστικών ελευθέρων ριζών κυρίως από τη ραδιόλυση του νερού
μοριακό	Χημικό	$10^{-8}$ – $10^{-3}$ (nsec – msec)	παραγωγή άτυπων μορίων, σχηματισμός βιολογικών δραστικών ελευθέρων ριζών, βλάβες βιολογικών μακρομορίων
	Βιο-χημικό	$10^{-3}$ – $10^4$ (msec – ώρες)	ενζυμικές αντιδράσεις, αναγνώριση και επιδιόρθωση βλαβών
κυτταρικό	Κυτταρικό	$10^4$ – $10^7$ (ώρες – μήνες)	κυτταρικός θάνατος, μεταλλάξεις, μεταβολή της κινητικής της κυτταρικής διαίρεσης, βλάβες ιστών, αποκατάσταση βλαβών ιστών
συστημικό	Συστηματικό	$10^8$ – $3 \times 10^9$ (έτη)	ορμονικά αποτελέσματα, ανοσολογικές αντιδράσεις, βλάβες αγγείων, λειτουργικές βλάβες, καρκινογένεση



**Βιολογική επίδραση σε μοριακό επίπεδο:  
άμεση δράση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας**

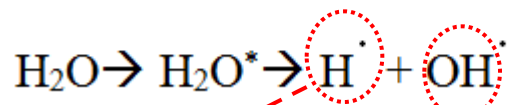
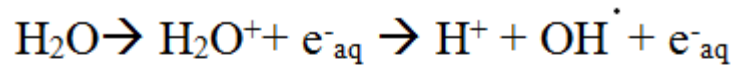
**Θραύση χημικών δεσμών**

**Μεταβολή φυσικών ή/και χημικών ιδιοτήτων βιολογικών  
μορίων και μακρομορίων  
με αποτέλεσμα άτυπα ή μη λειτουργικά μόρια**

**Απορρόφηση  $LD_{50/60}$  (4 Gy) επηρεάζει,  
μέσω της άμεσης δράσης, 1 στα  $10^7$  άτομα**

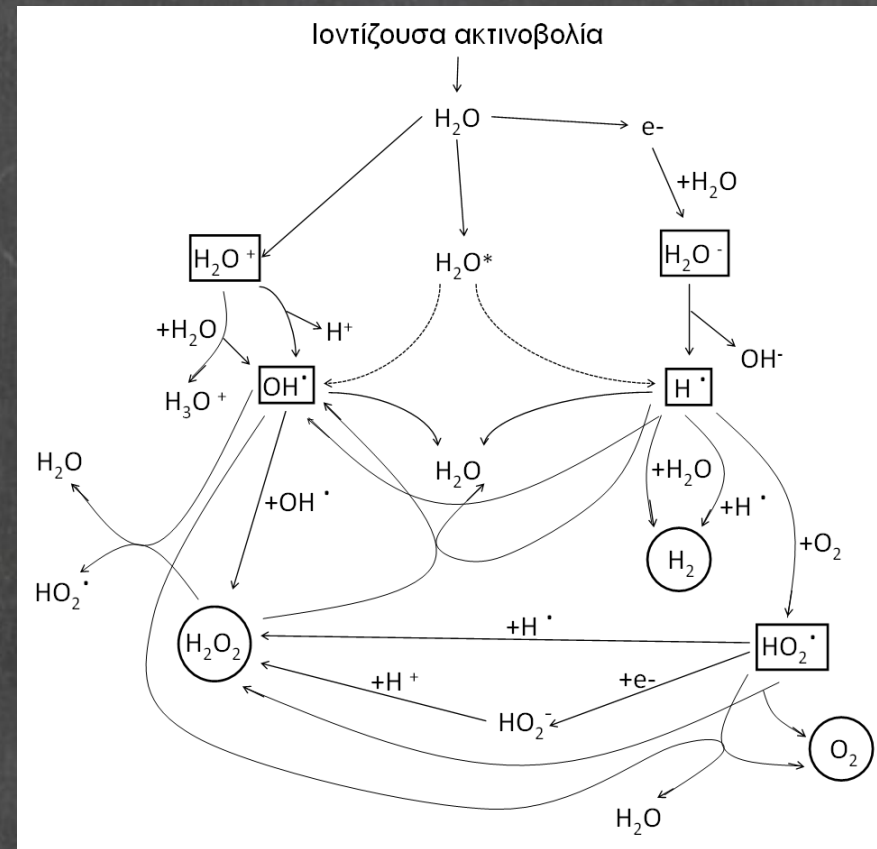
**LET ... ?**

# Βιολογική επίδραση σε **μοριακό επίπεδο**: **έμμεση δράση** της ιοντίζουσας ακτινοβολίας ραδιόλυση του H<sub>2</sub>O (1)

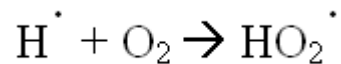
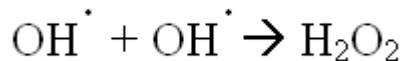
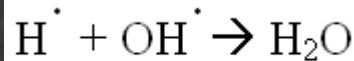


**Αναγωγικός  
 χαρακτήρας**

**Οξειδωτικός  
 χαρακτήρας**



Βιολογική επίδραση σε **μοριακό επίπεδο**:  
**έμμεση δράση** της ιοντίζουσας ακτινοβολίας  
ραδιόλυση του  $\text{H}_2\text{O}$  (2)



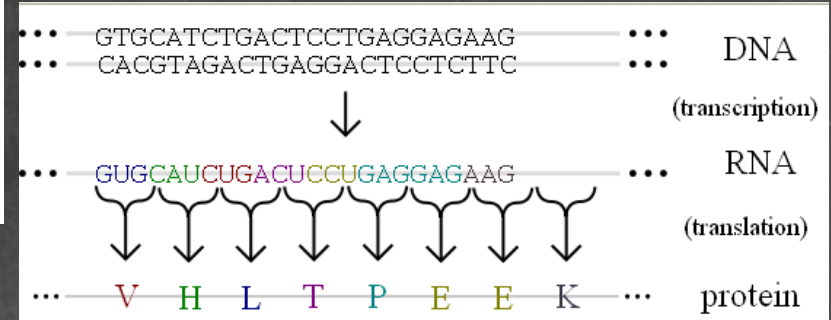
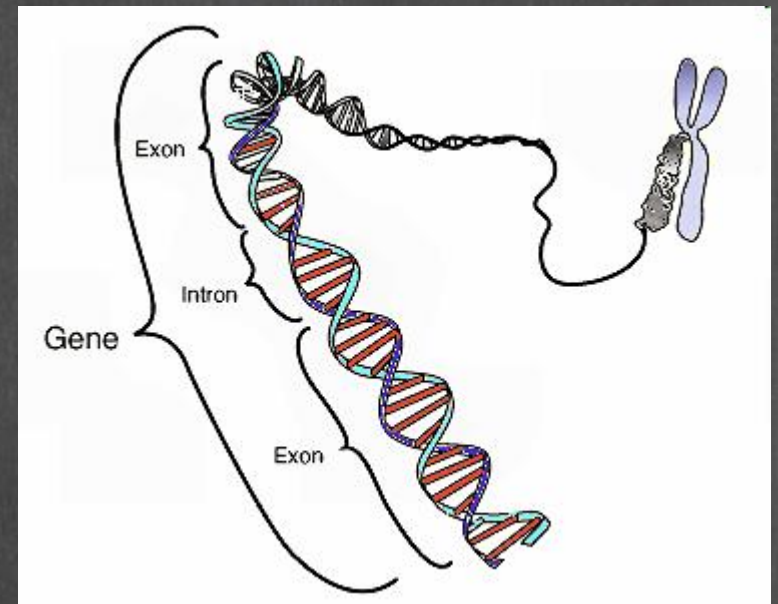
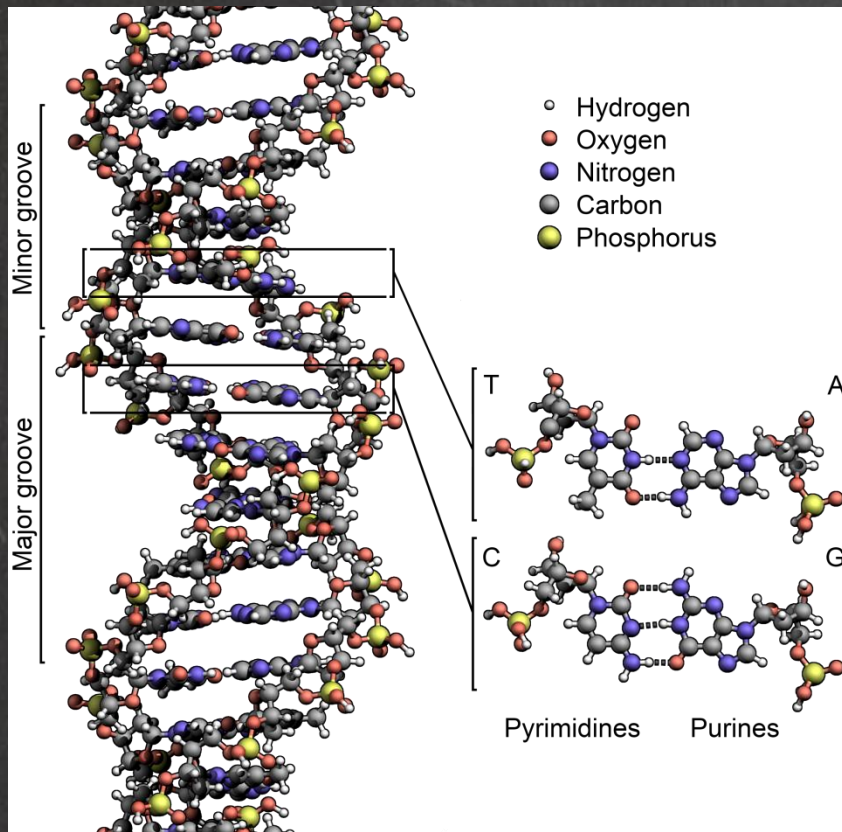
Αδρανοποίηση ελευθέρων ριζών

Παραγωγή υπεροξειδίου του  $\text{H}_2$

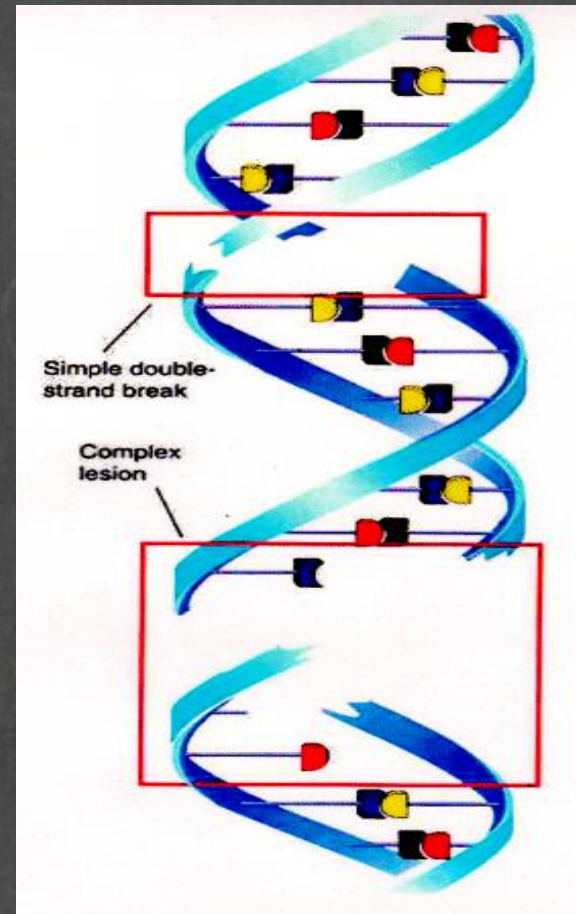
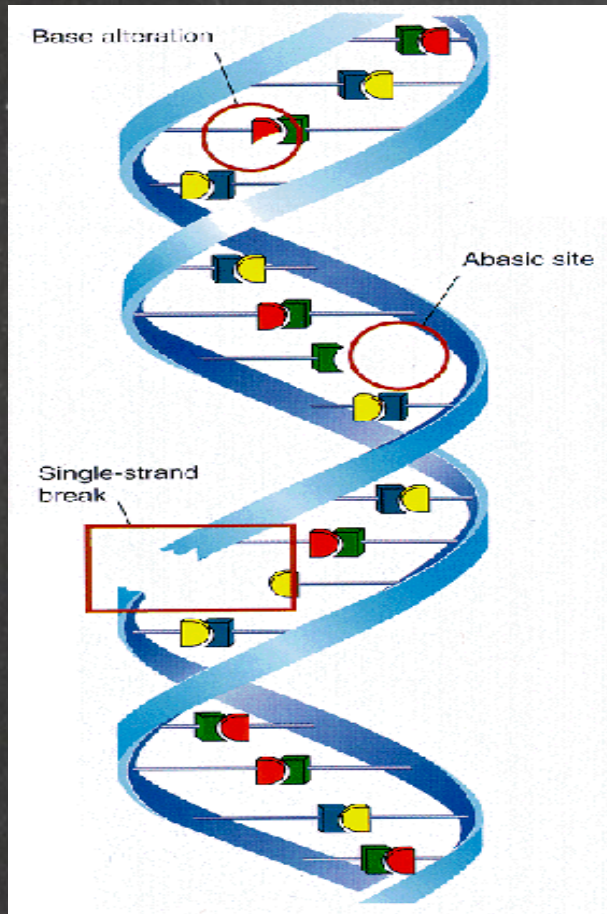
Παραγωγή ελεύθ. ρίζας υπεροξυλίου



# Βιολογική επίδραση σε **μοριακό επίπεδο**: η σημασία της βλάβης του DNA (1)



# Βιολογική επίδραση σε **μοριακό επίπεδο**: η σημασία της βλάβης του DNA (2)





**Βιολογική επίδραση σε **μοριακό επίπεδο**:  
η σημασία της βλάβης του DNA (3)**

**Δόση 1 Gy από ακτινοβολία χαμηλού LET →  
10<sup>5</sup> ιονισμοί / κύτταρο →  
άμεση και έμμεση δράση →  
40 DSB, 1.000 SSB, 1.000 βλάβες βάσεων / κύτταρο**

**που πρέπει να συγκριθούν με:**

**100.000 βλάβες του DNA καθημερινά...!!!**

**Βιολογική επίδραση σε κυτταρικό επίπεδο:  
πιθανά αποτελέσματα**

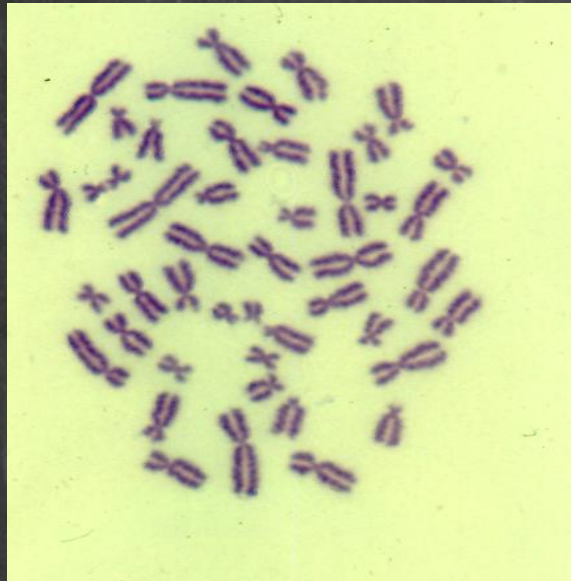
- **Γονιδιακές μεταλλάξεις**
- **Χρωμοσωματικές ανωμαλίες**
- **Κυτταρικός θάνατος**

## **Βιολογική επίδραση σε **κυτταρικό επίπεδο**: γονιδιακές μεταλλάξεις**

- Ανεπιτυχώς επιδιορθωμένες βλάβες του DNA οδηγούν σε μετάλλαξη (αλλαγή της αλληλουχίας βάσεων)**
- Τα αποτελέσματα της μετάλλαξης ποικίλλουν**
- Η συχνότητα εμφάνισης αυξάνει με τη δόση εως τιμές δόσης στις οποίες επικρατεί ο κυτταρικός θάνατος**
- Καθημερινά σημειώνονται 240.000 μεταλλάξεις / κύτταρο στις οποίες προστίθενται 2.000 ανά Gy δόσης**



**Βιολογική επίδραση σε **κυτταρικό επίπεδο**:  
χρωμοσωματικές ανωμαλίες**



**χρωμοσώματα λεμφοκυττάρων  
περιφερικού αίματος στη μετάφαση  
(0 Gy)**



**χρωμοσώματα λεμφοκυττάρων  
περιφερικού αίματος στη μετάφαση  
(6 Gy)**

# Βιολογική επίδραση σε **κυτταρικό επίπεδο**: κυτταρικός θάνατος

Ο κυτταρικός θάνατος συναρτάται της έκτασης της βλάβης των  
χρωμοσωμάτων

Μεγάλη δόση → εκτεταμένες βλάβες σε DNA, πρωτεΐνες, ένζυμα,  
μεμβράνη → νέκρωση

Χαμηλότερη δόση → μη επιδιορθώσιμη βλάβη DNA → απόπτωση

Χαμηλή δόση → διακοπή κυττ. κύκλου → επιδιόρθωση →  
επιτυχής? → κανένα αποτέλεσμα  
ανεπιτυχής? → καθυστερημένη νέκρωση/απόπτωση

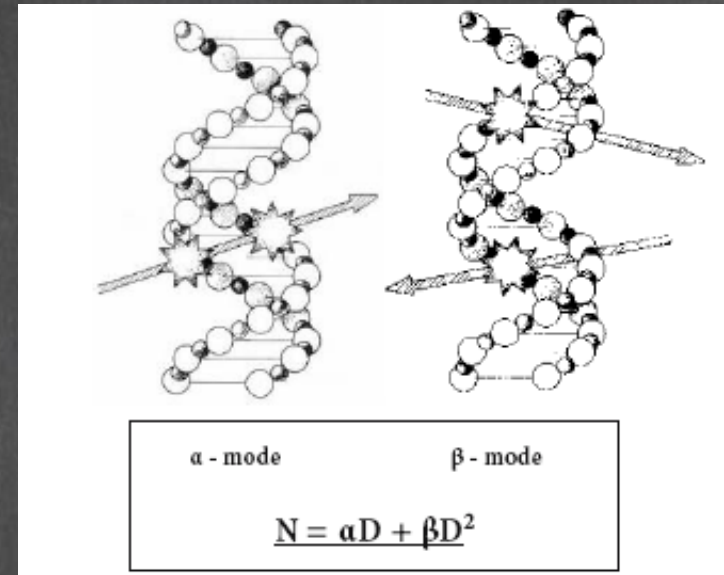
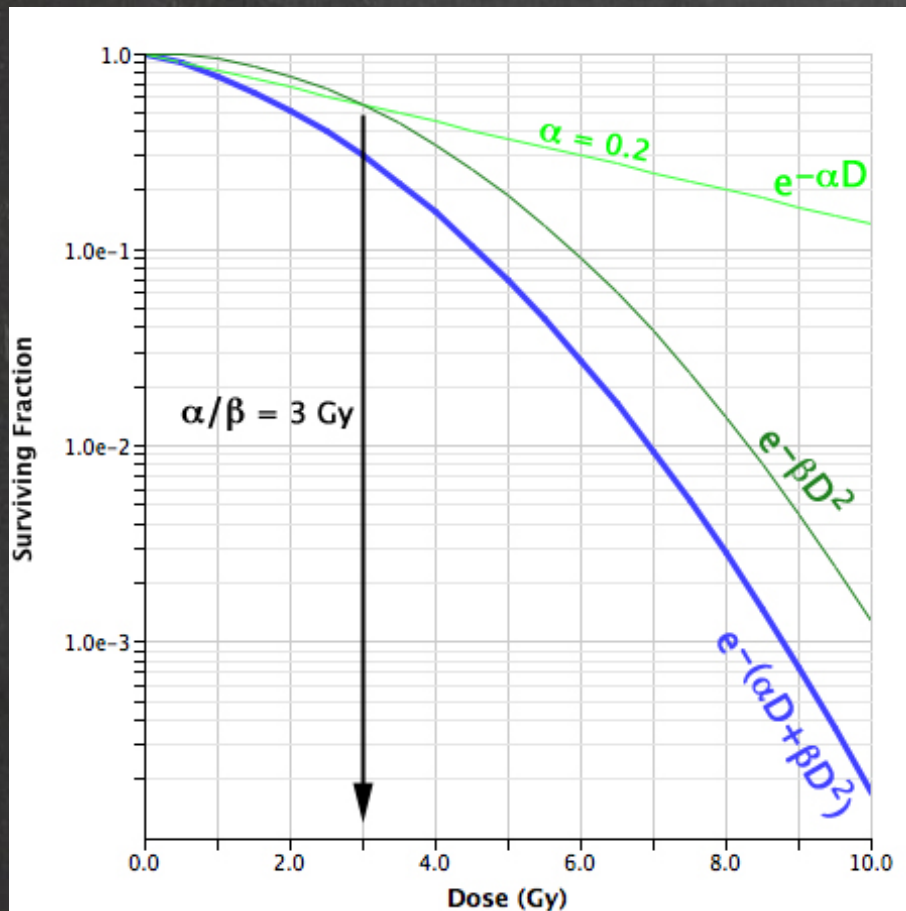
**Βιολογική επίδραση σε κυτταρικό επίπεδο:  
κυτταρικός θάνατος  
καμπύλες επιβίωσης**

- Θεωρία στόχου
- Θεωρία πολλαπλών στόχων
- Το Linear Quadratic (LQ) μοντέλο



Βιολογική επίδραση σε **κυτταρικό επίπεδο**:  
καμπύλες επιβίωσης  
το Linear-Quadratic μοντέλο

Κλάσμα επιβίωσης=  
 $N/N_0 = \exp[-(\alpha D + \beta D^2)]$



# Βιολογική επίδραση σε **κυτταρικό επίπεδο**: τροποποιητικοί παράγοντες

## ΦΥΣΙΚΟΙ:

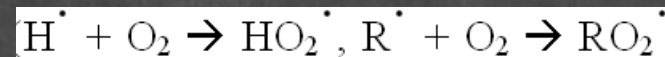
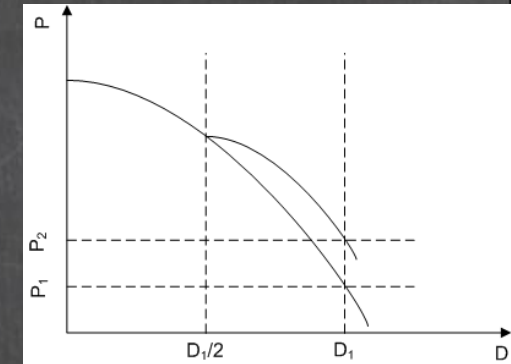
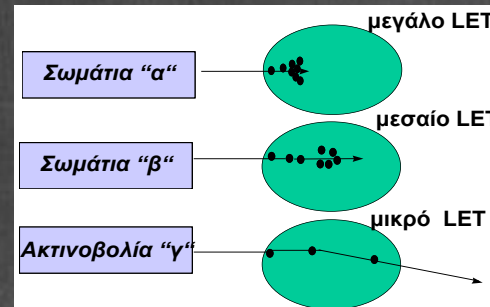
- LET
- Κλασματοποίηση δόσης

## ΧΗΜΙΚΟΙ:

- Συγκέντρωση O<sub>2</sub>, θειόλες κ.α.

## ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ:

- Φάση κυτ/κού κύκλου
- Είδος κυττάρου



Ομάδα 1	Ωριμα λεμφοκύτταρα, ερυθροβλάστες, σπερματογόνια κύτταρα
Ομάδα 2	Μυελοκύτταρα, κοκκιώδη κύτταρα, εντερικά κύτταρα, βλαστικά κύτταρα της επιδερμίδας
Ομάδα 3	Γαστρικοί αδένες, ενδοθηλιακά κύτταρα, λεπτών αγγείων του αίματος
Ομάδα 4	Οστεοβλάστες, χονδροβλάστες, σπερματοκύτταρα και σπερματίδες
Ομάδα 5	Πολυμορφοπύρρηνα λευκά αιμοσφαίρια, οστεοκύτταρα, σπερματοκύτταρα
Ομάδα 6	Παρεγχυματικά κύτταρα, ινοβλάστες
Ομάδα 7	Κύτταρα του συνδετικού ιστού, ινοκύτταρα, χονδροκύτταρα, φαγοκύτταρα
Ομάδα 8	Μυϊκά και νευρικά κύτταρα

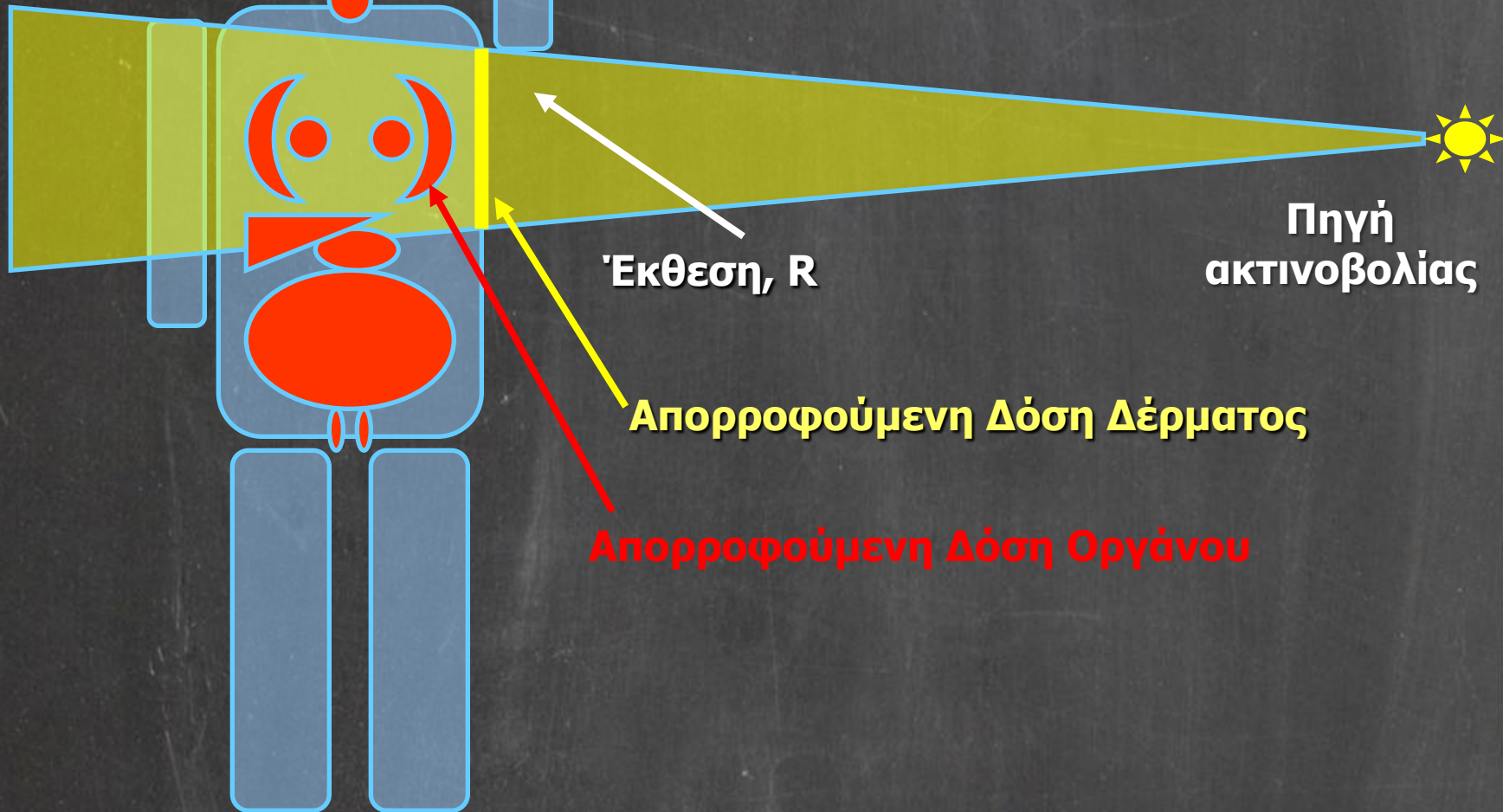
**Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**:**  
**Δοσιμετρικά μεγέθη και μονάδες**  
**χρησιμοποιούμενα στην ακτινοπροστασία**

1. Ροή
2. Έκθεση
3. Απορροφούμενη Δόση
4. **Ισοδύναμη Δόση**
5. **Ενεργός Δόση**





**3. Η Απορροφούμενη Δόση περιγράφει την ενέργεια που εναποτίθεται στην μονάδα μάζας της ύλης**



**Πηγή  
ακτινοβολίας**

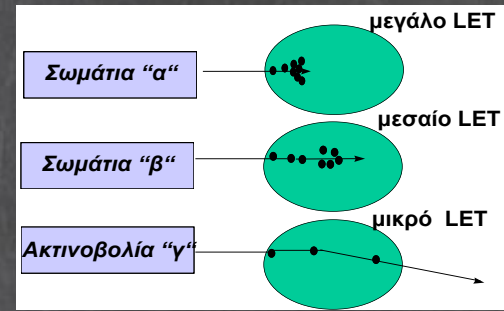
**Έκθεση, R**

**Απορροφούμενη Δόση Δέρματος**

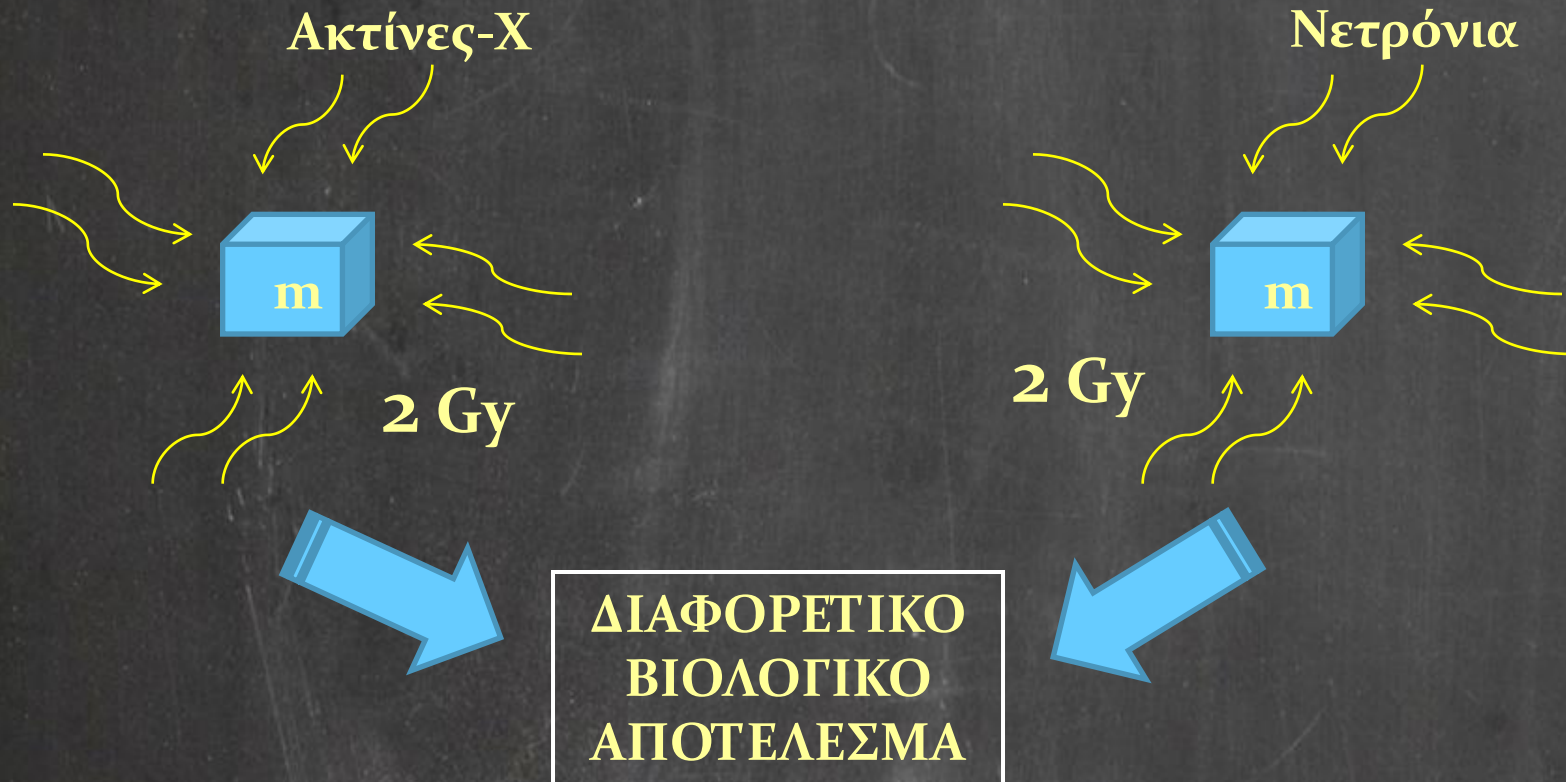
**Απορροφούμενη Δόση Οργάνου**

## 4. Ισοδύναμη δόση

Σαν έννοια, η απορροφημένη δόση εξαρτάται μόνο από την ενέργεια που απορρόφησε το υλικό

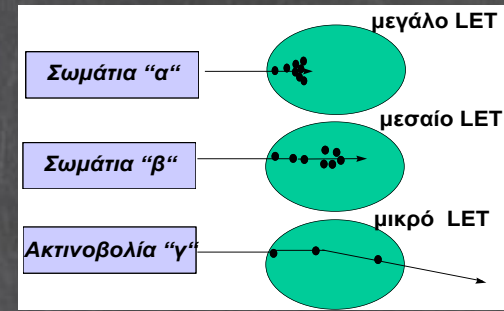


Η ακτινική επιβάρυνση εξαρτάται και από το είδος της ακτινοβολίας (φωτόνια, ηλεκτρόνια, σωματία-α, νετρόνια κλπ)





#### 4. Ισοδύναμη δόση :



Για να αποτιμηθεί η βιολογική βλάβη σε έναν ιστό δεν αρκεί να προσδιοριστεί μόνο το ποσό της απορροφούμενης δόσης.

Θα πρέπει το ποσό αυτό να πολλαπλασιαστεί με έναν **συντελεστή στάθμισης ακτινοβολίας,  $w_R$**  που να χαρακτηρίζει το LET της προσβάλλουσας ακτινοβολίας και κατ'επέκταση τη σχετική βαρύτητα της βλάβης που προκαλεί στον ιστό.

Το νέο μέγεθος που θα προκύψει από τον πολλαπλασιασμό καλείται **ισοδύναμη δόση**.

#### 4. Ισοδύναμη δόση :

Η ισοδύναμη δόση ( $H_T$ ) που έλαβε ένας ιστός T, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της απορροφημένης δόσης (D) με έναν συντελεστή στάθμισης ( $W_R$ ) ο οποίος εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας:

$$H_T = D \cdot W_R$$

**Μονάδα μέτρησης: Sv (Sievert)**

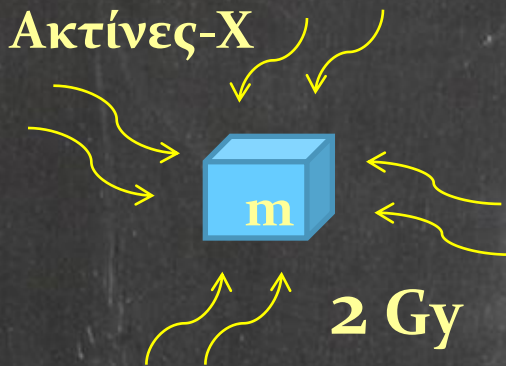
Επειδή σαν μονάδα μέτρησης είναι μεγάλη στην πράξη χρησιμοποιούμε:

**mSv (=0,001 Sv)**

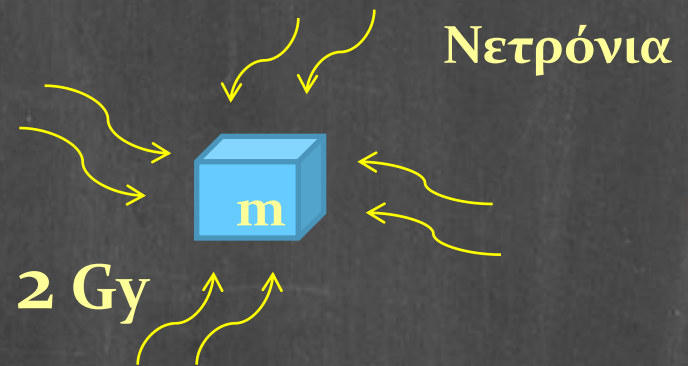
## 4. Ισοδύναμη δόση

$$H_T = D \cdot W_R$$

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



$$H_T = 2 \times 1 = 2 \text{ Sv}$$



$$H_T = 2 \times 5 = 10 \text{ Sv}$$

**ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΒΛΑΒΗ**



Ποια η επίδραση της ίδιας δόσης  $H_t$  σε διαφορετικούς ιστούς ;

Διαφορετικοί ιστοί έχουν διαφορετική ακτινοευαισθησία στον ίδιο τύπο ακτινοβολίας και στην ίδια δόση,

Για να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της ίδιας δόσης σε διαφορετικούς ιστούς χρησιμοποιείται ο **συντελεστής στάθμισης ιστού,  $w_T$**

Η ακτινοβόληση του αιμοποιητικού ιστού βάζει σε μεγαλύτερο κίνδυνο την υγεία από ότι η ακτινοβόληση με ίση ισοδύναμη δόση του θυρεοειδούς και αυτή με τη σειρά της σε μεγαλύτερο κίνδυνο από ότι η ακτινοβόληση του δέρματος αντίστοιχα

## 5. Ενεργός δόση $E_{\text{eff}}$ :

Για να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της ίδιας δόσης σε διαφορετικούς ιστούς χρησιμοποιείται ο συντελεστής στάθμισης ιστού,  $w_T$

$$E_{\text{eff}} = H_t \cdot W_T = D \cdot W_R \cdot W_T$$

Το άθροισμα των γινομένων της ισοδύναμης δόσης ( $H_T$ ) σε κάθε όργανο ή ιστό που ακτινοβολείται, επί το συντελεστή βαρύτητας που του αντιστοιχεί ( $w_T$ ), καλείται ενεργός δόση ( $E$ ).

$$E_{\text{eff}} = \sum [w_T \times H_T]$$

Μονάδα ενεργού δόσης είναι το Sievert (Sv).

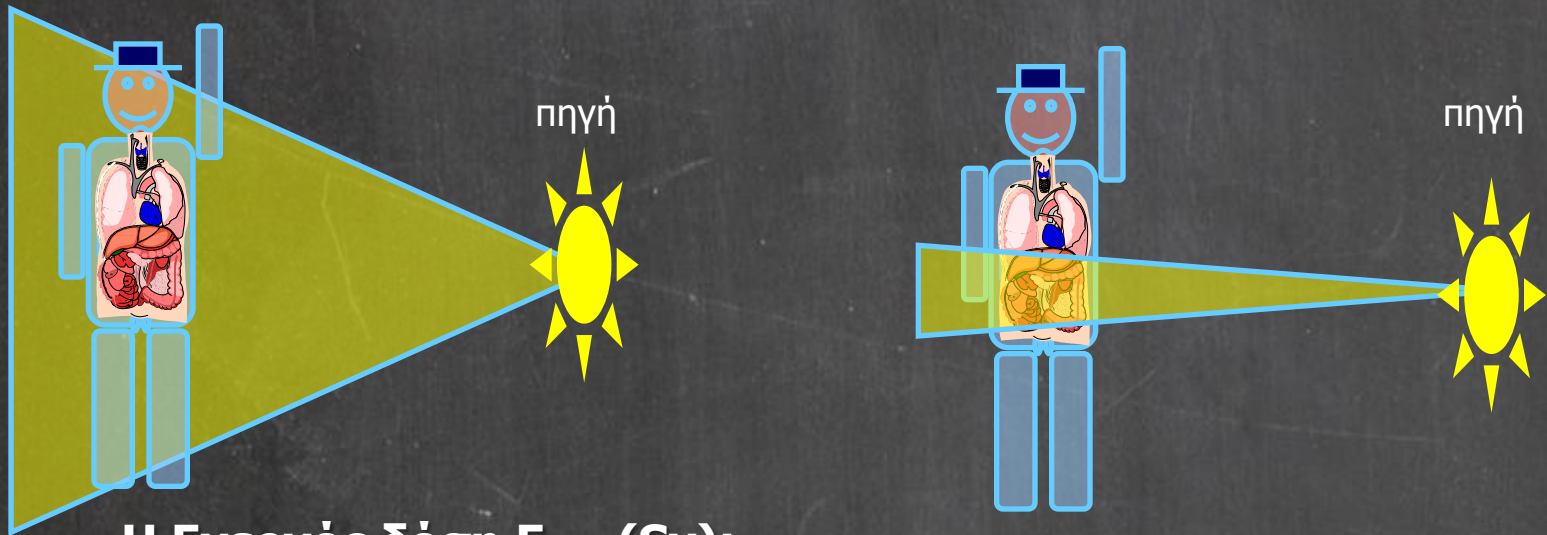
**Συντελεστές στάθμισης των εκτιθέμενου ιστού  $W_T$  για τον υπολογισμό της ενεργού δόσης  $E_{eff}$ ,  
ICRP 103 (2007)**

<b>Ιστοί</b>	<b><math>W_T</math></b>	<b><math>\Sigma W_T</math></b>
<b>Μυελός των οστών, Κόλον, Πνεύμονες, Στομάχι, Μαστός, Εναπομένοντες ιστοί*</b>	<b>0.12</b>	<b>0.72</b>
<b>Γονάδες</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>
<b>Ουροδόχος κύστη, οισοφάγος, ήπαρ, θυρεοειδής</b>	<b>0.04</b>	<b>0.16</b>
<b>Επιφάνεια οστών, εγκέφαλος, σιελογόνοι αδένες, δέρμα</b>	<b>0.01</b>	<b>0.04</b>

*\*Εναπομένοντες ιστοί: επινεφρίδια, εξωθωρακική περιοχή, χοληδόχος, καρδιά, νεφροί, λεμφικοί αδένες, μύες, επιθήλιο στόματος, πάγκρεας, προστάτης (♂), λεπτό έντερο, σπλήνας, θύμος αδένας, μήτρα / τράχηλος (♀).*

$$\Sigma W_T = 1$$





**Η Ενεργός δόση  $E_{\text{eff}}$  (Sv):**

- Σχετίζεται με τον ενεχόμενο συνολικό κίνδυνο για την υγεία, ανεξάρτητα από το είδος της προσβάλλουσας ακτινοβολίας, τις συνθήκες ακτινοβόλησης και την ακτινοβολούμενη περιοχή του ανθρώπινου σώματος.
- Αντιστοιχεί αριθμητικά στην ολοσωματική ισοδύναμη δόση που έπρεπε να δεχθεί το προσβληθέν άτομο ώστε να διατρέξει τον ίδιο κίνδυνο βλάβης της υγείας του με αυτόν που διατρέχει από την τοπική ακτινοβόληση του οργάνου.

Να θυμάστε ότι :

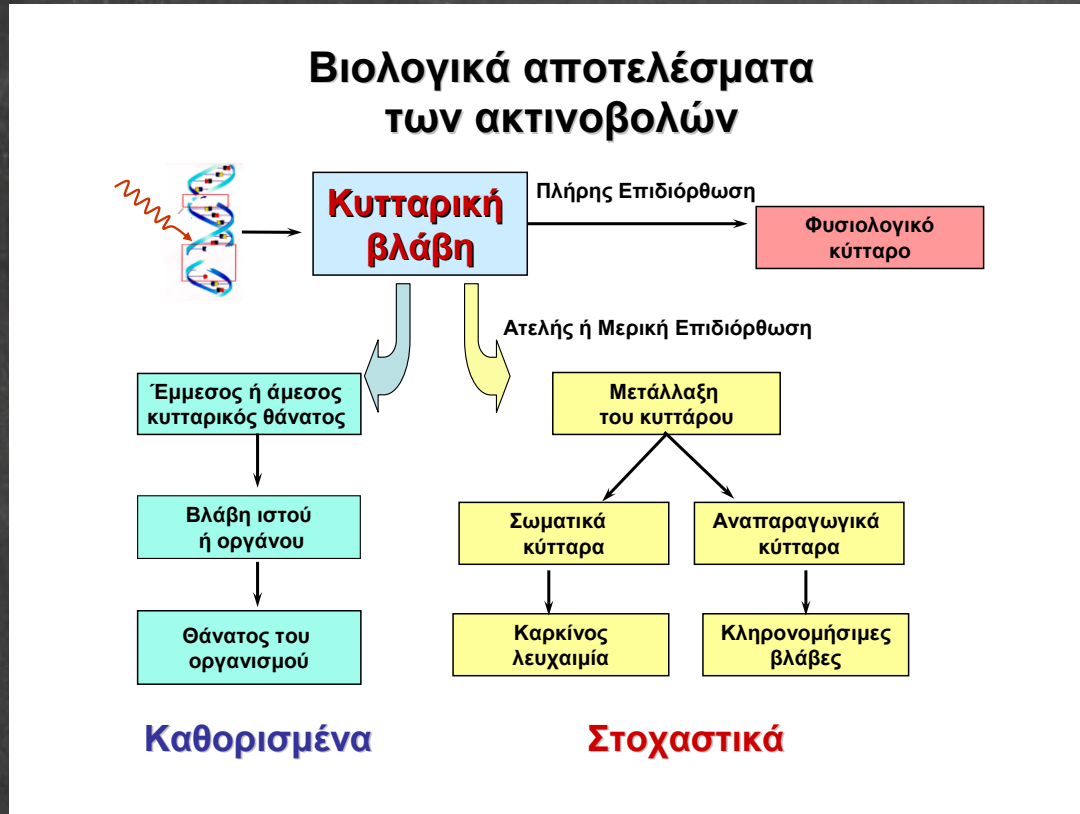
- Η ισοδύναμη δόση εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας
- Η ενεργός δόση εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας και το είδος του ιστού που ακτινοβολείται

Για να έχετε μια αίσθηση των μεγεθών :

Η ενεργός δόση που οδηγεί σε θάνατο του ανθρώπου είναι 4-5 Sv

Ακτινογραφία θώρακος	:	0,05 mSv =	0,00005 Sv
Ολόσωμη αξονική τομογραφία	:	15 mSv =	0,015 Sv
Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς	:	50 mSv =	0,05 Sv

# Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**: είδη αποτελεσμάτων

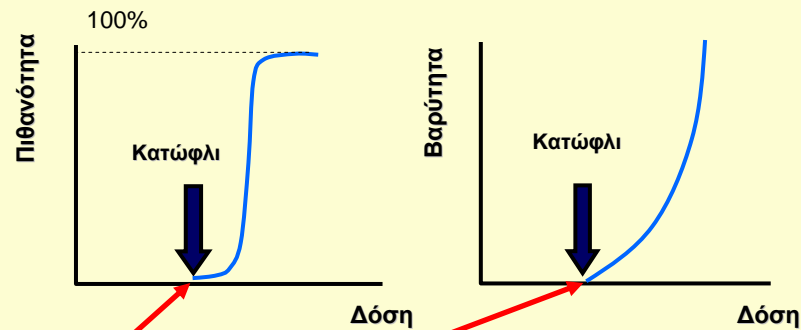




# Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**: καθορισμένα αποτελέσματα (1)

## Καθορισμένα αποτελέσματα

(Ερύθημα, Νέκρωση δέρματος κ.λ.π. )



**$D > 0,5 - 1 \text{ Sv}$**

**Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**:  
καθορισμένα αποτελέσματα (2)**

**κλινικές περιόδους ακτινικών συνδρόμων  
ανάλογα με το χρόνο μετά την έκθεση σε μεγάλες δόσεις  
(ολόσωμη, εφάπαξ δόση > 1Gy):**

- πρόδρομη περίοδος (0-48h) ανορεξία, ναυτία, έμετος και  
διάρροια**
- λανθάνουσα περίοδος (48h-3 εβδομάδες) ο ασθενής  
καθίσταται ασυμπτωματικός**
- περίοδος εκδήλωσης των διαφόρων συνδρόμων ανάλογα  
και με τη δόση ακτινοβολίας (6-8 εβδομάδες)**
- περίοδος ανάρρωσης η οποία διαρκεί από 6 εβδομάδες έως  
και πολλούς μήνες μετά την έκθεση αν ο ασθενής επιβιώσει.**

## Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**: καθορισμένα αποτελέσματα (3)

**Ακτινική νόσος:**  $D > 1$  Gy. Ήπια ανορεξία και κόπωση. Για  $D \sim 10$  Gy, τα συμπτώματα εμφανίζονται μετά από μερικά λεπτά, είναι σφοδρότερα, και προστίθενται εφίδρωση, πυρετός, απάθεια και χαμηλή πίεση. Χαμηλότερες δόσεις έχουν ως αποτέλεσμα την καθυστερημένη εμφάνιση των συμπτωμάτων και για  $D < 2$  Gy τα συμπτώματα μπορεί να είναι υποκλινικά και επιτυγχάνεται πλήρης ανάρρωση με 100% επιβίωση.

**Σύνδρομο του αιμοποιητικού:**  $D > 2$  Gy. Για  $D < 4$  Gy κατά την περίοδο εκδήλωσης του συνδρόμου εμφανίζονται αναιμία, αυξημένη πίεση, κόπωση, εξέλκωση του στόματος, αποτρίχωση και λοιμώξεις. Για  $D$  4-8 Gy τα συμπτώματα γίνονται σφοδρότερα τόσο κατά την πρόδρομη περίοδο όσο και κατά την περίοδο εκδήλωσης του συνδρόμου που λαμβάνει χώρα νωρίτερα, και υπάρχει πιθανότητα θανάτου λόγω αιμορραγίας.

**Γαστρεντερικό σύνδρομο:** για  $D$  6-10Gy, πέραν του συνδρόμου του αιμοποιητικού εκδηλώνονται εντός λίγων εβδομάδων αφυδάτωση και καταπληξία του κυκλοφορικού που τελικά οδηγούν σε θάνατο.

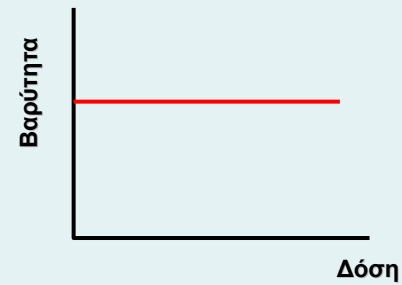
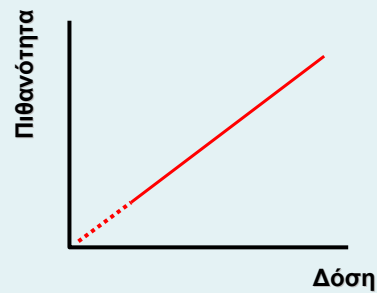
**Σύνδρομο του Κ.Ν.Σ.:**  $D > 10$  Gy με ακατάσχετη ναυτία και έμετο, σύγχυση, σπασμούς, κώμα, και οδηγεί σε θάνατο εντός μερικών ημερών.



# Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**: στοχαστικά αποτελέσματα

## Στοχαστικά αποτελέσματα

(Καρκινογένεση, Λευχαιμία, κληρονομήσιμα)



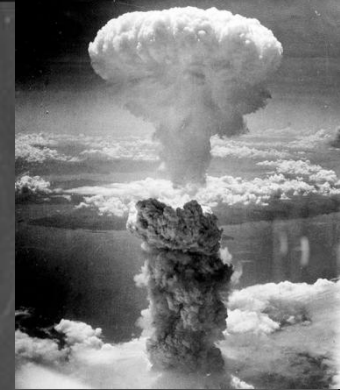
**Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**:  
στοχαστικά αποτελέσματα  
επιδημιολογικά δεδομένα**

**Η μελέτη πλυθυσμών που εκτέθηκαν σε ιοντίζουσα  
ακτινοβολία δείχνουν:**

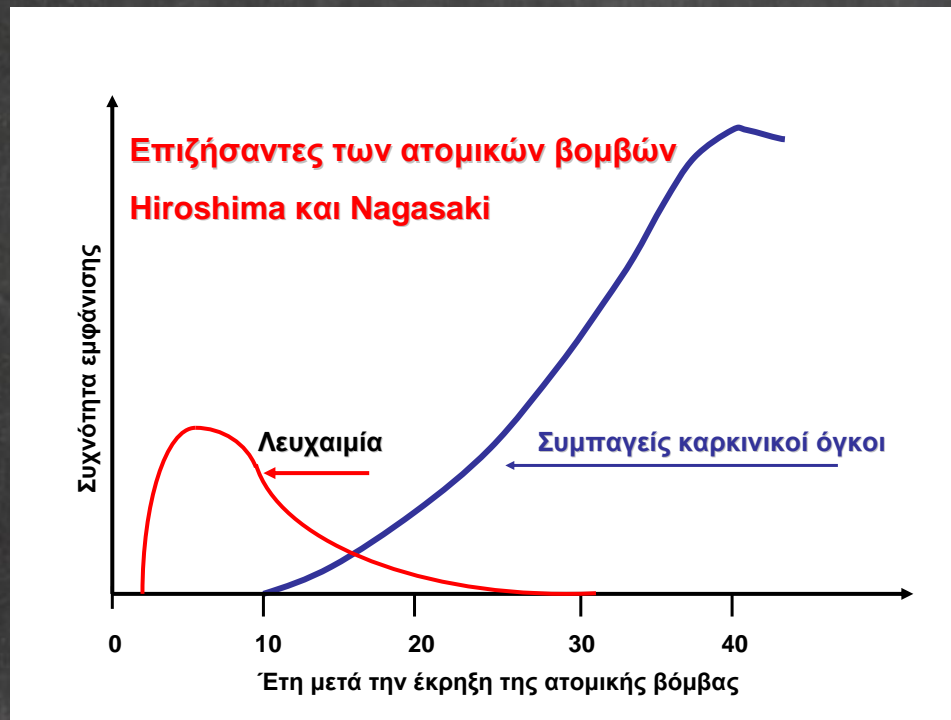
- **σαφή αύξηση της επίπτωσης του καρκίνου για δόσεις  
> 200 mSv**
- **πιθανή αύξηση της επίπτωσης του καρκίνου για δόσεις  
< 100 mSv**

**Η στατιστική αβεβαιότητα αυξάνει  
με τη μείωση της δόσης.**

Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**:  
στοχαστικά αποτελέσματα  
επιδημιολογικά δεδομένα  
Hiroshima / Nagasaki



LSS μελέτη ( $t > 60$  έτη) για  $N = 10^5$  επιζήσαντες που  
δέχθηκαν δόσεις από 0 έως 6 Sv  
(μέση τιμή 0,24 Sv και  $3 \cdot 10^4$  δέχθηκαν δόση 5-100 mSv)



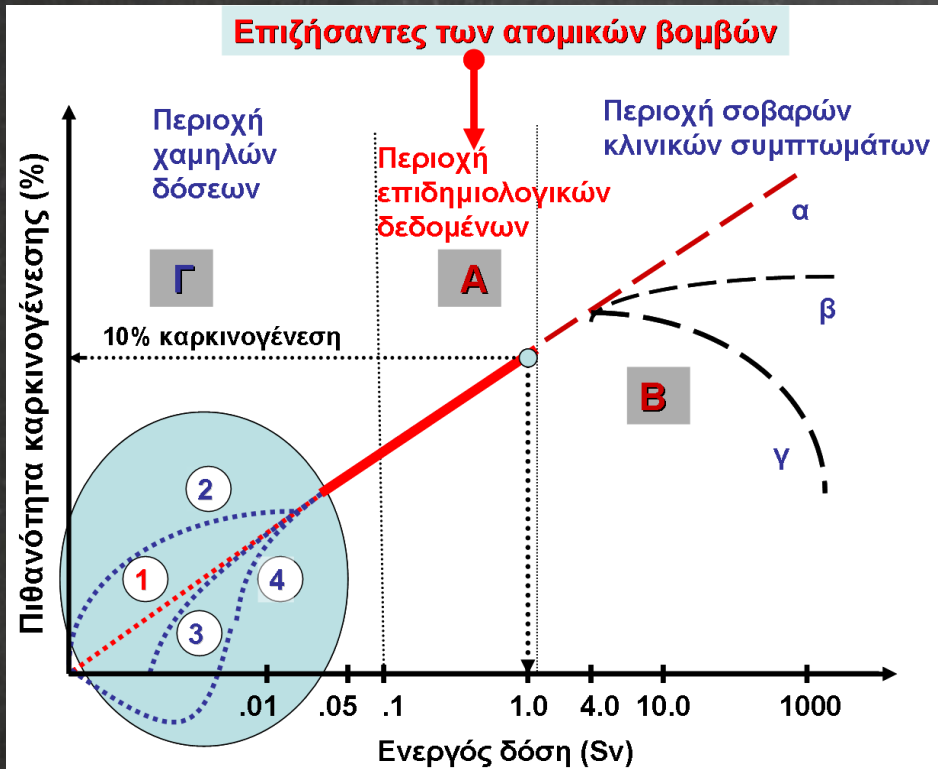


# Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**:

στοχαστικά αποτελέσματα

επιδημιολογικά δεδομένα

ποσοτικοποίηση του κινδύνου (1)



## Περιοχή Α

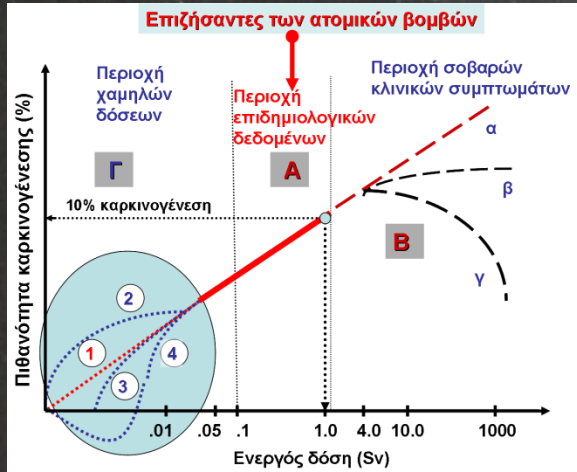
Στοχαστικό αποτέλεσμα	Μέση πιθανότητα εμφάνισης* (% ανά Sv)
Λευχαιμία	~0.9
Θανατηφόροι συμπαγείς καρκινικοί όγκοι	~11.00 **

\* σταθμισμένη ως προς το φύλλο και την ηλικία  
\*\* ~9% για τους άνδρες & ~13% για τις γυναίκες

**Φυσιολογική επίπτωση θανατηφόρου καρκίνου στο γενικό πληθυσμό: 23%**

# Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**: στοχαστικά αποτελέσματα επιδημιολογικά δεδομένα

## ποσοτικοποίηση του κινδύνου (2)

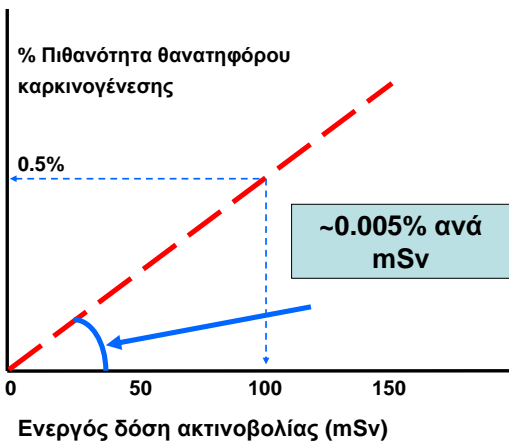


### Περιοχή Γ

Η πιθανότητα καρκινογένεσης φαίνεται να είναι μειωμένη 50% σε χαμηλές δόσεις και ρυθμούς δόσης

### Η υπόθεση LNT

Πιθανότητα εμφάνιση θανατηφόρου καρκίνου σε χαμηλές δόσεις και χαμηλούς ρυθμούς δόσης (DDREF=2)



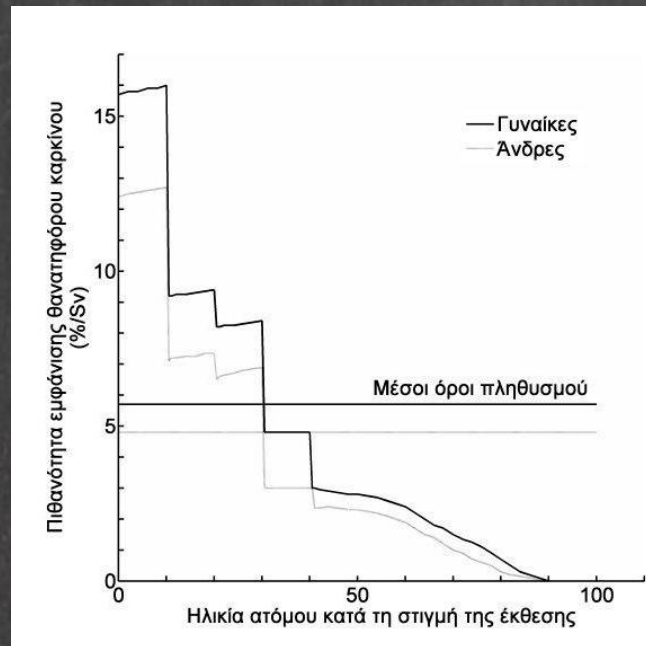
Στοχαστικό αποτέλεσμα	Μέση πιθανότητα εμφάνισης* (% ανά mSv)
Λευχαιμία	~0.0005%
Θανατηφόροι καρκινικοί όγκοι	~0.0055% **
Κληρονομήσιμες βλάβες	~0.0002%

\* σταθμισμένη ως προς το φύλλο και την ηλικία  
\*\* ~0.0045% για τους άνδρες & ~0.0065% για τις γυναίκες

Φυσιολογική επίπτωση  
θανατηφόρου καρκίνου  
στο γενικό πληθυσμό: 23%

Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**:  
στοχαστικά αποτελέσματα  
επιδημιολογικά δεδομένα  
ποσοτικοποίηση του κινδύνου (3)

Περιοχή Γ  
Η σημασία της ηλικίας  
τη στιγμή της έκθεσης σε ιοντίζουσα ακτινοβολία





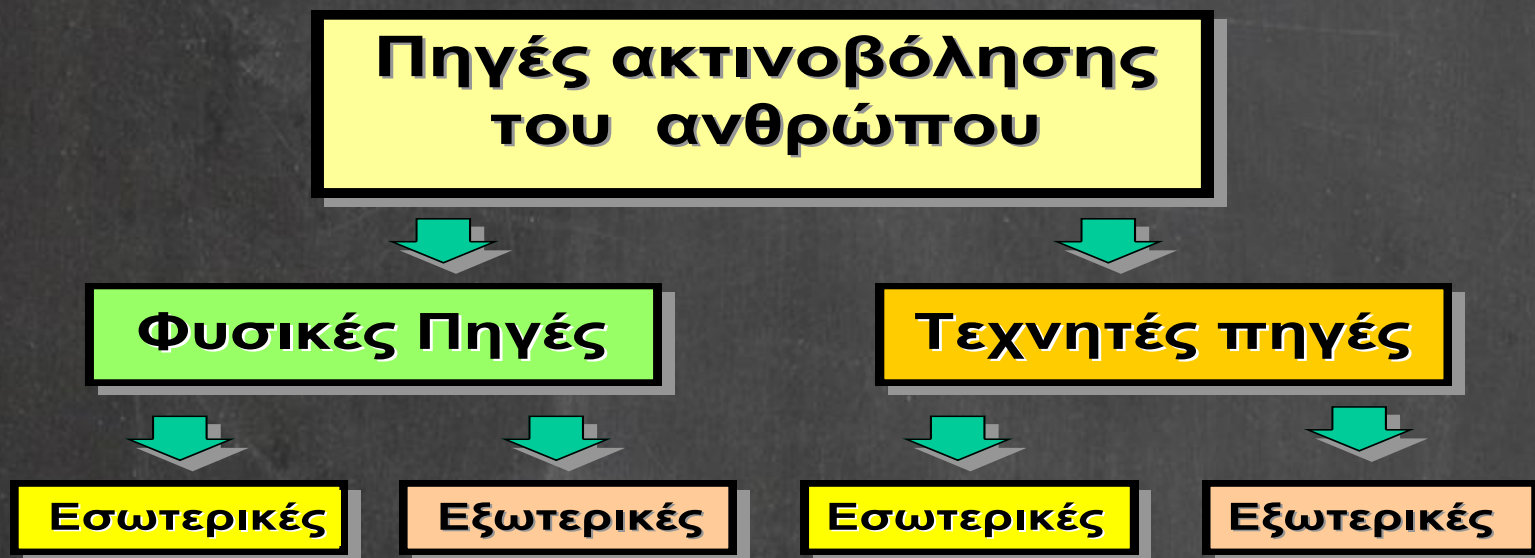
# Βιολογική επίδραση σε **συστημικό επίπεδο**: επιδράσεις στο έμβryo και το κύημα

Φάση		Εβδομάδα μετά τη σύλληψη
1η	Από τη σύλληψη μέχρι την εμφύτευση του εμβρύου στο βλεννογόνο της μήτρας	0 <sup>η</sup> - 3 <sup>η</sup>
2η	Μείζον οργανογένεση	3 <sup>η</sup> - 8 <sup>η</sup> .
3η	Ανάπτυξη του εμβρύου	8 <sup>η</sup> - μέχρι τη γέννηση
	Διάπλαση κεντρικού νευρικού συστήματος	8 <sup>η</sup> - 15 <sup>η</sup>

Βιολογικό αποτέλεσμα		Εβδομάδα κύησης	Κατώφλι δόσης	Πιθανότητα εμφάνισης
Στοχαστικό	καρκινογένεση	>3 <sup>ης</sup>	Όχι	0,015% ανά mGy για όλη τη διάρκεια ζωής
		0 <sup>η</sup> - 3 <sup>η</sup>	Όχι	< 0,015% ανά mGy για όλη τη διάρκεια ζωής
Καθορισμένο	αποτυχία εμφύτευσης ωαρίου	0 <sup>η</sup> - 3 <sup>η</sup>	>100 mGy	
	δυσπλασία οργάνων	3 <sup>η</sup> - 8 <sup>η</sup> .	>100 mGy	
	διανοητική καθυστέρηση	8 <sup>η</sup> - 15 <sup>η</sup>	>300 mGy	40% ανά Gy
	μείωση του δείκτη IQ =25 μονάδες / Gy	8 <sup>η</sup> - 15 <sup>η</sup>	Όχι;	
>15 <sup>ης</sup>		Όχι;		

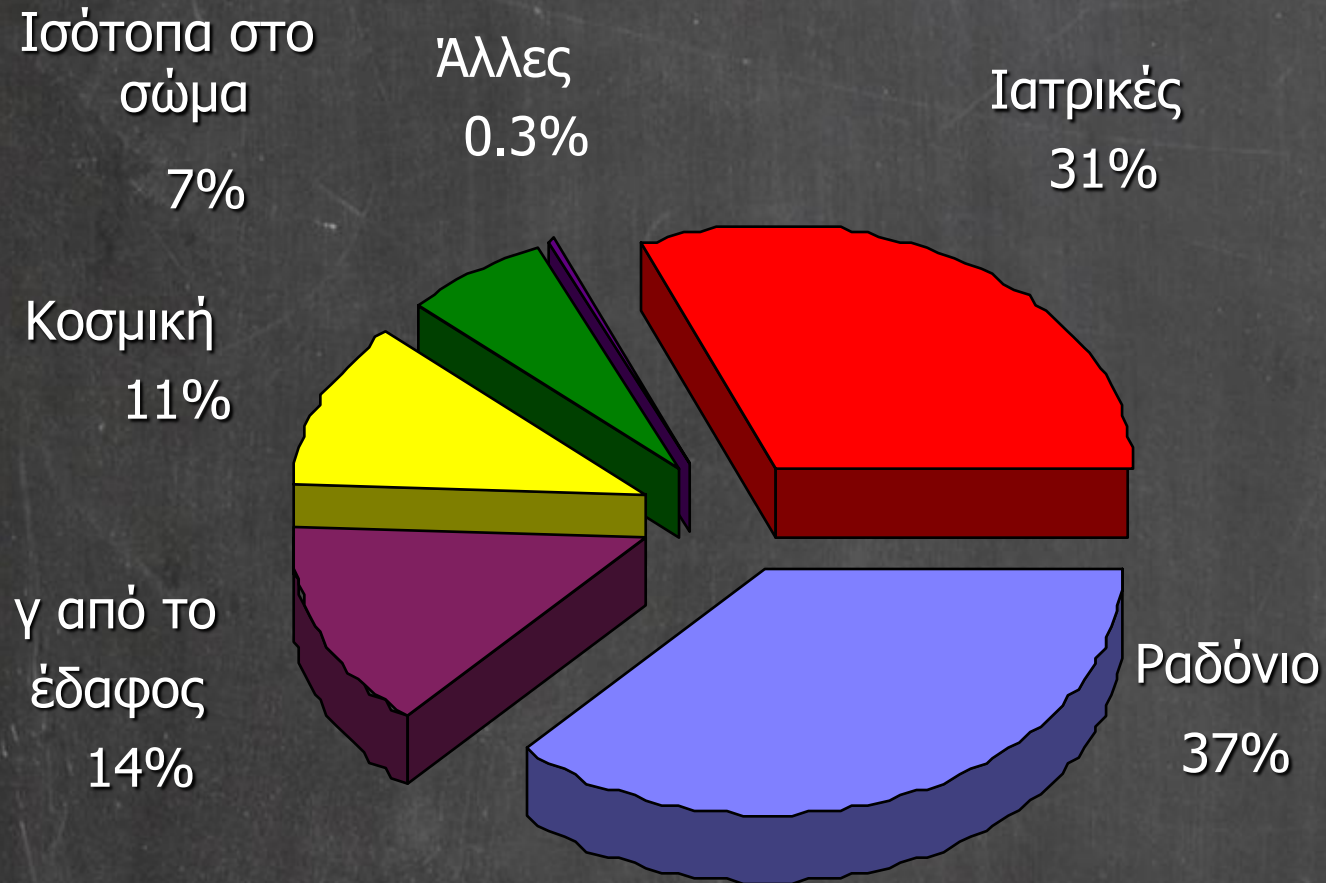
**ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ  
ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

# Πηγές ακτινοβολήσης του ανθρώπου



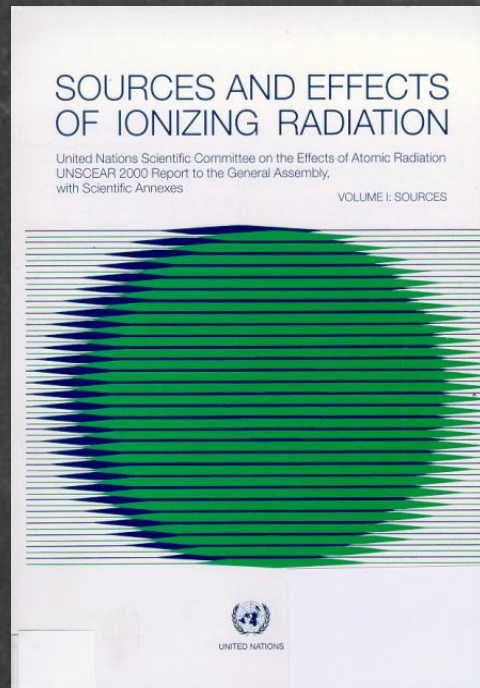


# Συνεισφορά των πηγών ακτινοβόλησης στη δόση του Ευρωπαϊκού πληθυσμού

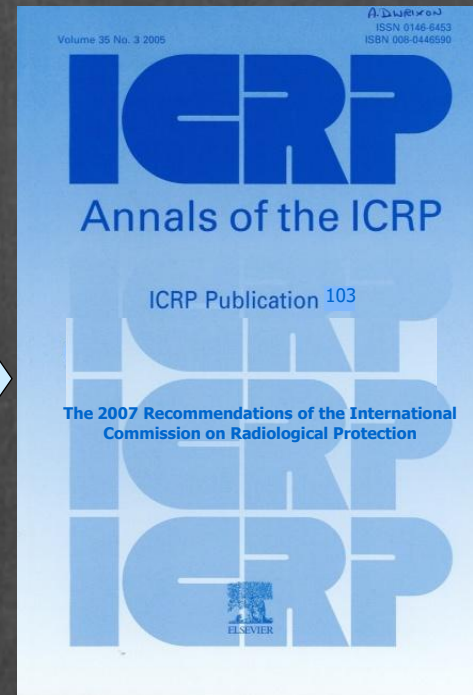


U.Ns' Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

# Επιστημονική βάση της ακτινοπροστασίας Υπάρχουσα γνώση (2007)



Αποτελέσματα  
ακτινοβολίας



Συστάσεις  
ακτινοπροστασίας

Ρυθμιστικό πλαίσιο Ακτινοπροστασίας,



**Διεθνές Επίπεδο**

International Atomic Energy Agency (ΙΑΕΑ)

2014 Basic Safety Standards

**Ευρωπαϊκή Ένωση**

Council Directive 2013/59/EURATOM, 5 Dec. 2013

**Εθνικό Επίπεδο**

ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Υ.Α. 1014 / ΦΕΚ 216 τ.β / 6.3.2001





Έχει την ευθύνη για τη σύνταξη και την εφαρμογή των κανονισμών ακτινοπροστασίας.

Ελέγχει τις εφαρμογές των ακτινοβολιών

Δοσιμετρεί τους εργαζομένους με ακτινοβολίες.

Παρέχει εκπαίδευση, πληροφορίες, συμβουλές.

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

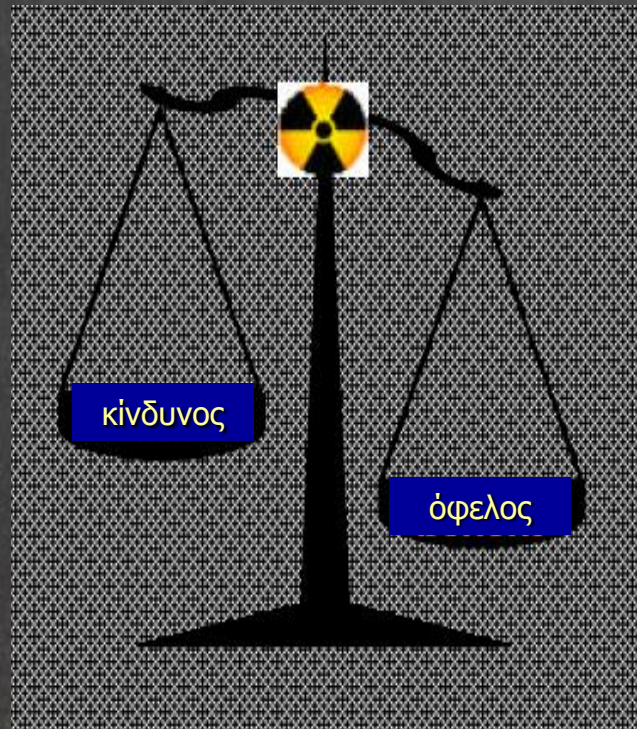
Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων



# Αιτιολόγηση

Για να εφαρμοστεί μια πρακτική που προϋποθέτει έκθεση σε ακτινοβολία, πρέπει αυτή να προσφέρει καθαρό όφελος στον εκτιθέμενο ή στο κοινωνικό σύνολο.





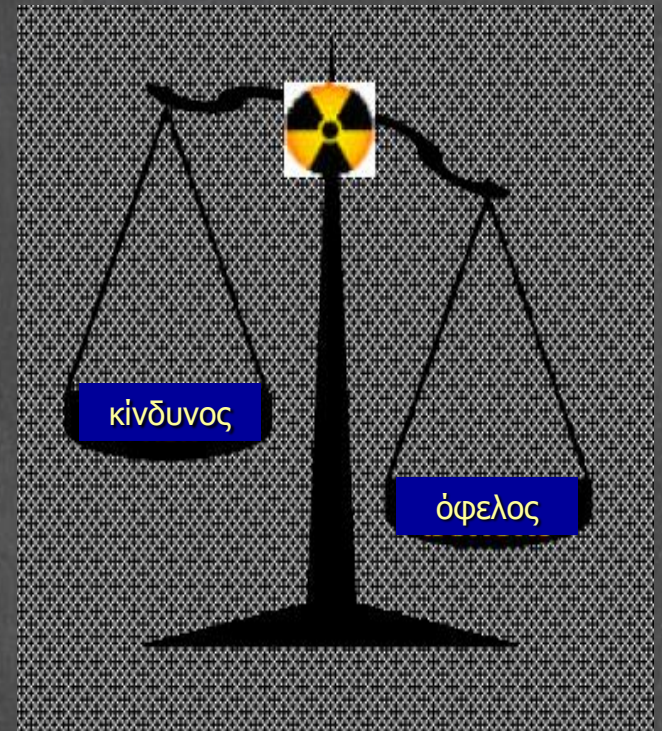
# Αιτιολόγηση Ιατρικές εφαρμογές

## Κρατικό Επίπεδο

Ειδική Επιτροπή του Υ.Υ.Π.

## Ατομικό Επίπεδο

η έκθεση αιτιολογείται με τη συνεργασία παραπέμποντος και θεράποντος ιατρού, με βάση τα ατομικά γνωρίσματα του εκτιθεμένου.







Ευρωπαϊκή Επιτροπή

## ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ 118

### Οδηγίες για την παραπομπή ασθενών για ακτινολογικές εξετάσεις



ΚΛΙΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΕΞΕΤΑΣΗ [ΔΟΣΗ]	ΣΥΣΤΑΣΗ [ΒΑΘΜΟΣ]	ΣΧΟΛΙΟ
Συμπτώματα από το μέσο ή έσω ους (συμπεριλαμβανόμενου αίτηρου) <b>A11</b>	CT (II)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η αξιολόγηση αυτών των συμπτωμάτων απαιτεί ΩΡΛ, νευρολογική ή νευροχειρουργική ειδικότητα.
Αιθητηριακή νευρογενής κώφωση (για τα παιδιά βλέπε το τμήμα II) <b>A12</b>	MR (0)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η MR είναι πολύ καλύτερη από την CT, ιδίως για ακουστικά νεurinώματα. Για την κώφωση σε παιδιά βλέπε II4.
Νόσος των παραφρινικών κόλπων	XR κόλπου (I)	Δεν ενδείκνυται ως συνήθης διαδικασία (B)	Η πάχυνση του βλεννογόνου είναι μη ειδικό εύρημα και μπορεί να συμβεί σε ασυμπτωματικούς ασθενείς.
(για τα παιδιά βλέπε το τμήμα II) <b>A13</b>	CT (II)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η CT είναι πιο ικανοποιητική και παρέχει μοναδικές πληροφορίες για την ανατομία των στομίων. Τεχνικές χαμηλής δόσης είναι επιθυμητές. Ενδείκνυται όταν αποτύχει η μέγιστη ιατρική θεραπεία, όταν εμφανίζονται επιπλοκές ή εάν υπάρχει υποψία κακοήθειας.
Άνοια και ανωμαλίες μνήμης, πρώτη εκδήλωση ψύχωσης	Ακτινογραφία κρανίου (I)	Δεν ενδείκνυται ως συνήθης διαδικασία (B)	Να εξετάζεται η περίπτωση της εξέτασης εάν η κλινική πορεία είναι ασυνήθιστη ή στους νεότερους ασθενείς.

A. Κεφαλή

**Κριτήρια Παραπομπής Ασθενών**

**Οδ.ΕΕ 97/43**

**Κ.Α.**

**Άρθρο 6**

**Μέρος 1**

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

## Βελτιστοποίηση (**A**<sub>s</sub> **L**ow **A**<sub>s</sub> **R**easonably **A**chievable)

- ✓ **Διάγνωση:** οι δόσεις στις ιατρικές εκθέσεις θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερες δίνοντας ταυτόχρονα την επιθυμητή διαγνωστική πληροφορία, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες



# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

Π.χ.: Εξεταζομένοι - Ασθενείς : Πρωτόκολλα έκθεσης

Βέλτιστα στοιχεία : kV, mAs, απόσταση

Χρήση φιλμ και ενισχυτικών πινακίδων υψηλής ευαισθησίας

Σωστή & Ασφαλής Λειτουργία ακτινολογικού εξοπλισμού

Εμφανιστήριο, συνθήκες διάγνωσης

Χρήση προστατευτικών μέσων σε νεαρά άτομα & εγκύους

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

### Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς

Επίπεδα δόσης τυπικών εξετάσεων για ομάδες ασθενών τυπικού μεγέθους ή τυπικά ομοιώματα σε εύρος μηχανημάτων.

Τα επίπεδα αυτά δεν πρέπει να υπερβαίνονται για τυπικές διαδικασίες όταν εφαρμόζεται ορθή και ομαλή πρακτική σχετική με τη διαγνωστική και τεχνική εκτέλεση.

Έλεγχος και διορθωτικά μέτρα κατά τη συστηματική υπέρβαση των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς.

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

## Εξοπλισμός

Επιλογή εξοπλισμού

Λειτουργία εξοπλισμού

## ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

*« ... οι αρμόδιες αρχές θέτουν ειδικά κριτήρια για την αποδοχή εξοπλισμού ώστε να είναι σαφές πότε χρειάζονται κατάλληλες επανορθωτικές ενέργειες που μπορεί να φτάσουν στην παύση λειτουργίας του εξοπλισμού»*



# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

## Εξοπλισμός

### ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

«Όλος ο χρησιμοποιούμενος ακτινολογικός εξοπλισμός πρέπει να ελέγχεται αυστηρά όσον αφορά την ακτινοπροστασία»

«Ο κάτοχος της ακτινολογικής εγκατάστασης πρέπει να εφαρμόζει κατάλληλα προγράμματα διασφάλισης ποιότητας συμπεριλαμβανομένων μέτρων για τον έλεγχο ποιότητας και την εκτίμηση της δόσης του ασθενούς ή της χορηγούμενης ραδιενέργειας»

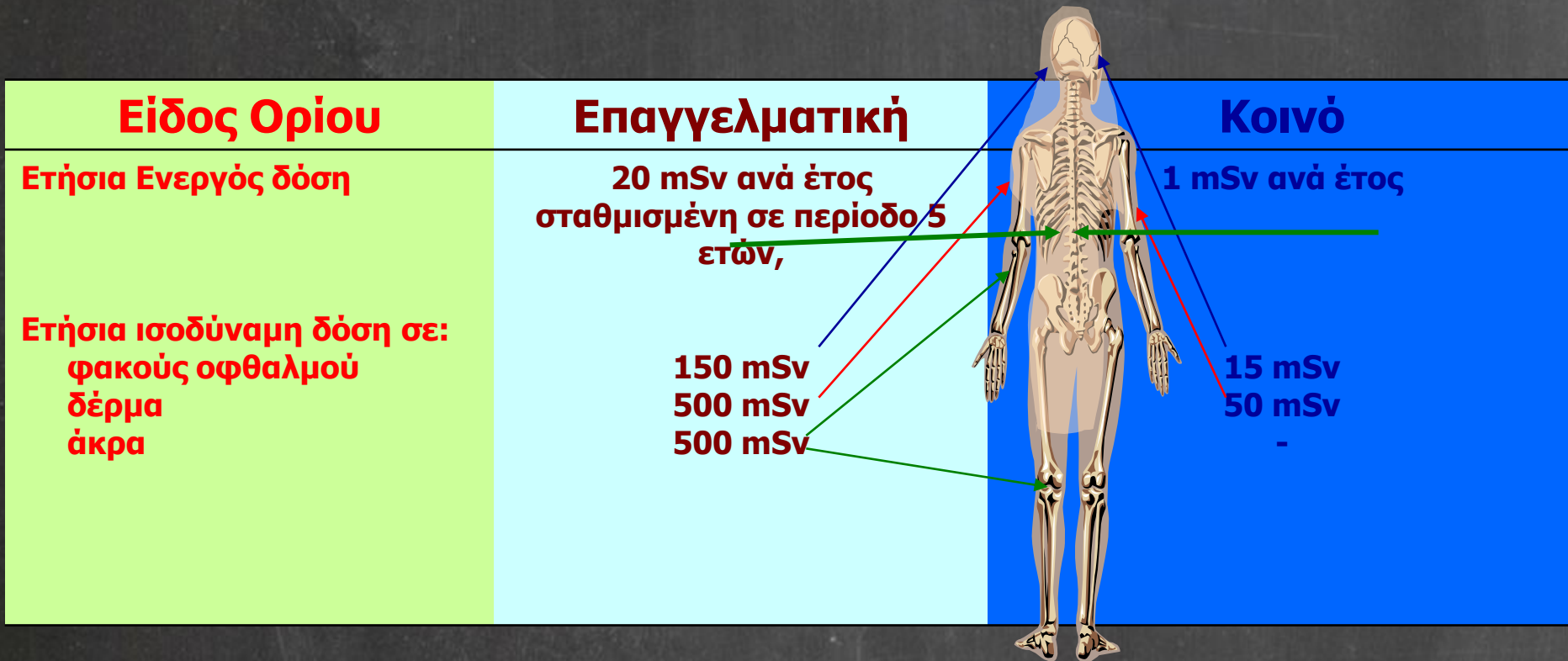
«Ο κάτοχος της ακτινολογικής εγκατάστασης φροντίζει για τη διόρθωση ανεπαρκών ή ελαττωματικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού»

⇒ Πρωτόκολλα ελέγχων ποιότητας

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

## Όρια δόσεων για σχεδιασμένες καταστάσεις έκθεσης



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ατιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

Όρια δόσεων για επαγγελματικά εκτιθέμενους  
20 mSv/έτος

Αν 1000 άτομα δέχονται **20 mSv** κάθε χρόνο για 50 χρόνια

Αναμένονται λόγω της έκθεσης στα 50 χρόνια :

50 θάνατοι από καρκινογένεση.

Δηλαδή 1 θάνατος ανά έτος

(Ετήσια πιθανότητα  $P = 1 / 1,000$ )

1 α/γ θώρακα F : 0,05 mSv

1 CT θώρακα : 9 mSv



## Επαγγελματικός κίνδυνος

έτος	θάνατοι /	
Βιομηχανία πετρελαίου-αερίου	1 / 600	1 / 1000
Λατομεία	1 / 3,000	
Ανθρακορυχεία	1 / 5,000	
Σιδηρόδρομοι	1 / 6,000	
Οικοδομή	1 / 7,000	
Γεωργία	1 / 9,000	
Χημική Βιομηχανία	1 / 12,000	
Αυτοκινητοβιομηχανία	1 / 70,000	
Βιομηχανία ρούχων	1 / 200,000	

## Επαγγελματικός κίνδυνος στην Ελλάδα

	Ετήσια Δόση mSv	Αναμενόμενοι θάνατοι / έτος
Επιτρεπόμενα όρια δόσεων	20.0	1/ 1,000
Επεμβατική καρδιολογία	4.0*	1/ 5,000
Έλληνες εργαζόμενοι	0.6*	1/ 30,000
Ακτινολόγοι	0.6*	1/ 30,000

\* Καταγραφείσα Μέση Ετήσια Δόση, στοιχεία ΕΕΑΕ

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

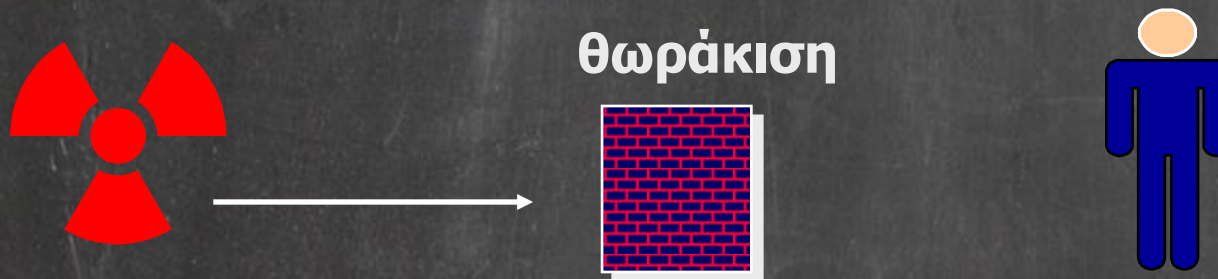
Αιτιολόγηση  
Βελτιστοποίηση  
Όρια Δόσεων

## Επαγγελματικός κίνδυνος στην Ελλάδα

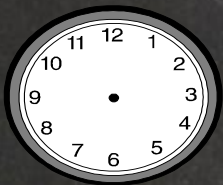
Έτος	θάνατοι /	
Βιομηχανία πετρελαίου-αερίου	1 / 600	← <b>ΟΡΙΑ</b> <b>(1/1000)</b>
Λατομεία	1 / 3,000	← <b>ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΟΙ</b> <b>(1 / 5,000)</b>
Ανθρακορυχεία	1 / 5,000	
Σιδηρόδρομοι	1 / 6,000	
Οικοδομή	1 / 7,000	<b>ΝΟΣΗΛΕΥΤΕΣ</b> -
Γεωργία	1 / 9,000	← <b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΙ</b> <b>(1/10,000)</b>
Χημική Βιομηχανία	1 / 12,000	
Αυτοκινητοβιομηχανία	1 / 70,000	← <b>ΠΥΡ. ΙΑΤΡΟΙ</b> <b>(1 / 14,500)</b>
Βιομηχανία ρούχων	1 / 200,000	



# Βασικοί κανόνες ακτινοπροστασίας



**Χρόνος**



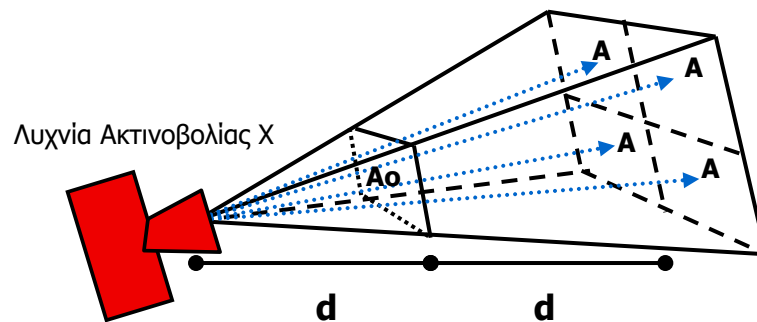
## **1. Βασικός κανόνας ελαχιστοποίησης του χρόνου έκθεσης σε ακτινοβολία**

- **Η δόση είναι ανάλογη της διάρκειας της έκθεσης, άρα χρόνος εργασίας πρέπει να ελαχιστοποιείται.**
- **Ο εργαζόμενος πρέπει να είναι ενήμερος για τα χαρακτηριστικά της πηγής.**
- **Η αλόγιστη επίσπευση της εργασίας ενδέχεται να οδηγήσει σε λάθη.**
- **Η εξάσκηση του εργαζομένου είναι προϋπόθεση για τον προγραμματισμό βελτιστοποίησης της έκθεσής του.**

## 2. Βασικός κανόνας της απόστασης μεταξύ εκτιθεμένου ατόμου και πηγής



$$\frac{I_1}{I_2} = \left[ \frac{d_2}{d_1} \right]^2$$





### 3. Βασικός κανόνας παρεμβολής θωράκισης μεταξύ εκτιθεμένου και πηγής

Χαρτί

Plexiglass

Σκυρόδεμα

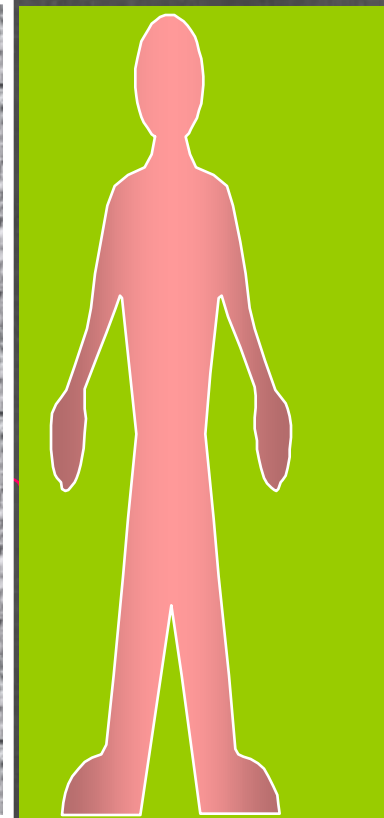
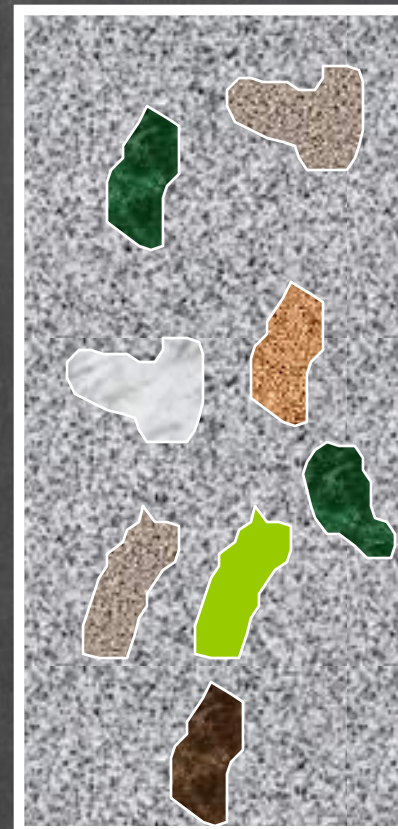
$\alpha$



$\beta$



$\gamma$



$$I = I_0 \bullet e^{-\mu X}$$