

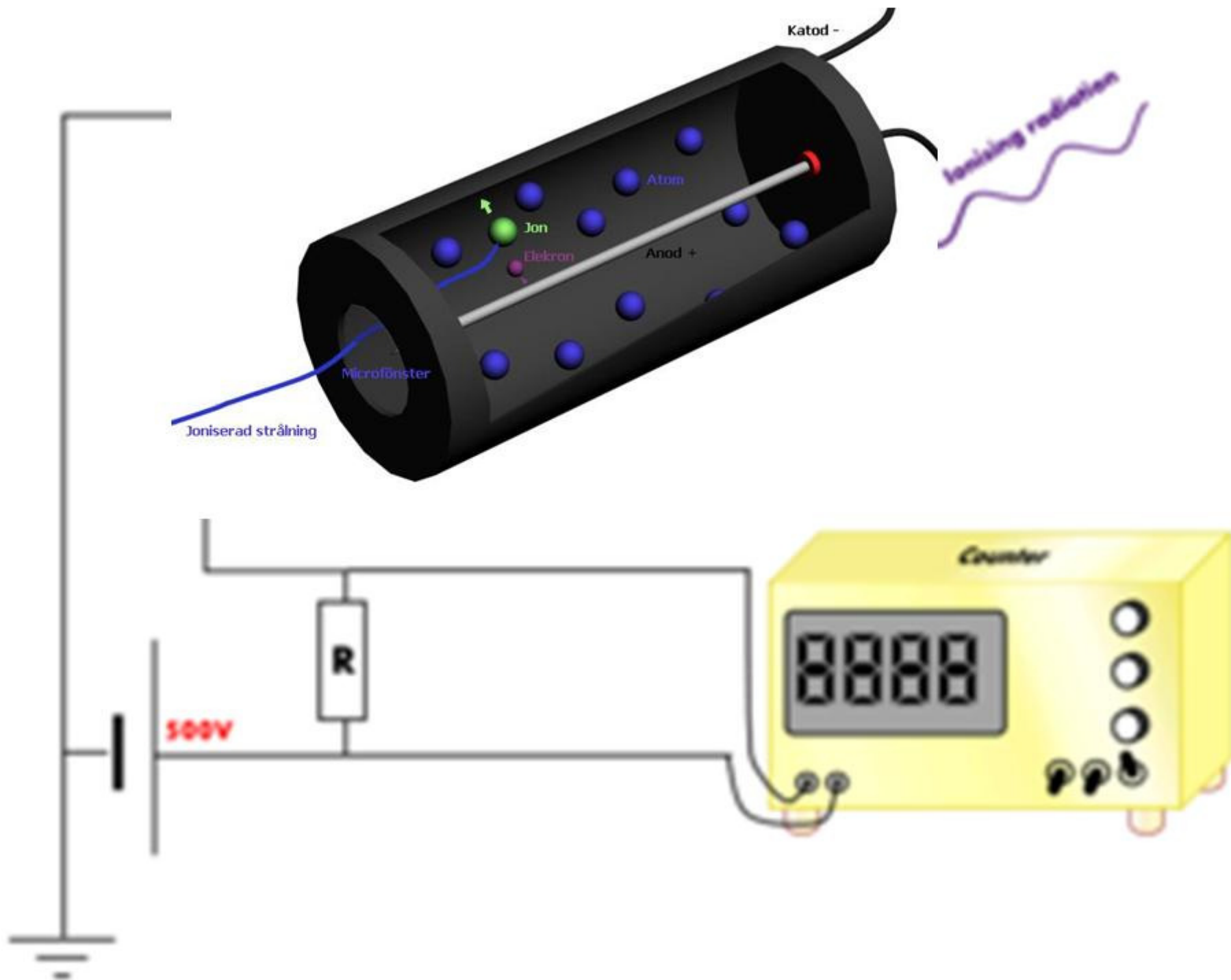
ΜΑΘΗΜΑ 2

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Geiger-Müller counter

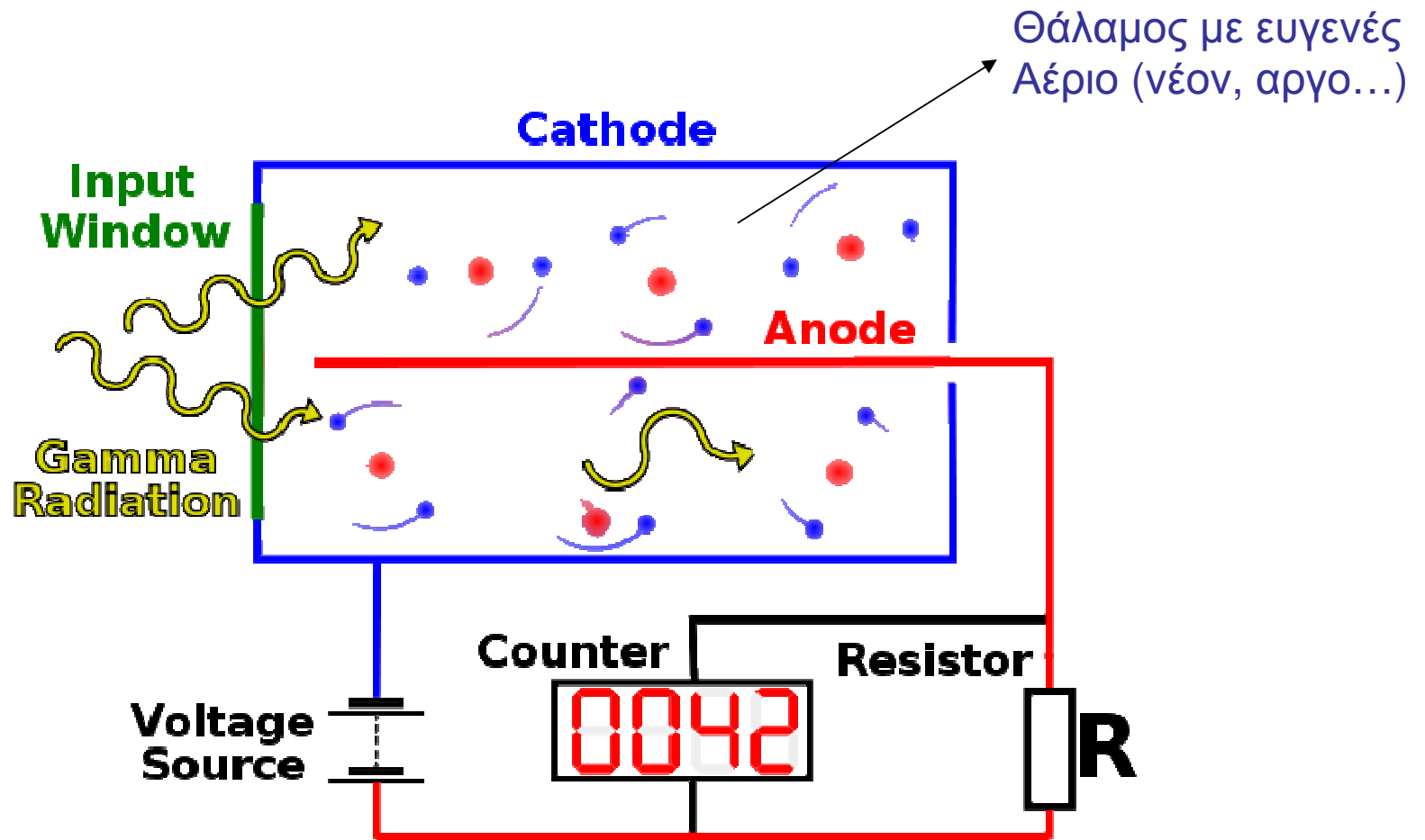






Geiger–Müller counter

X, γ ακτινοβολία
β-ακτινοβολία (ηλεκτρόνια)
α-ακτινοβολία (πυρήνες ηλίου)



Εφευρέθηκε το 1908



Film badges for personal dosimetry



ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.

Ως μονάδα έκθεσης σε ακτινοβολία ορίζεται το **1 roentgen**, που είναι η ποσότητα της ιονίζουσας ακτινοβολίας η οποία κατά την είσοδο της σε 1293×10^{-3} gr αέρα, προκαλεί την εμφάνιση ιόντων φορτίου 1 ηλεκτροστατικής μονάδας ($0,001293$ gr αέρα = βάρος 1 cc αέρα σε 0°C , 760mmHg .)

Το σύνολο της ενέργειας που αποθηκεύεται μέσα σε ένα υλικό κατά τη διέλευση της ακτινοβολίας μέσα απ' αυτό, αποτελεί την "**απορροφούμενη δόση**". Ουσιαστικά το roentgen μετρά την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται το σώμα και όχι η ενέργεια που απορροφάται από αυτό.

$$\text{Απορροφούμενη δόση (D)} = \frac{\text{έκθεση}}{\text{μάζα του υλικού}}$$

Η μονάδα που μετρά την απορροφούμενη δόση είναι το **1 rad**.

100 rad ισοδυναμούν με 1 Gray.

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

Η επίδραση στους ζωντανούς οργανισμούς μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το είδος της ακτινοβολίας , το είδος του ιστού ή του οργανισμού
Η μονάδα απορρόφησης που λαμβάνει υπ'οψιν αυτή τη διαφορά και έτσι μετρά την **Βιολογικά Ισοδύναμη Αποροφούμενη Δόση** είναι το

$$1 \text{ Sievert} = 100 \text{ rem}$$

$$Sv = W_R \times W_T \times Gy$$

(Ο παράγοντας W_R εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας και τη μεταφερόμενη ενέργεια

Ο παράγοντας W_T εξαρτάται από τον ιστό και τον οργανισμό)

	W_R
Ηλεκτρόνια, φωτόνια	1
Πρωτόνια	2
Νετρόνια	1-2.2
Alpha , heavy ions	20

	W_T
Πνεύμονας, μαστός, έντερο	0.72
Κύστη, ήπαρ, θυροειδής	0.16
Οστό, εγκέφαλος	0.04

	W_T
Ιοί, Βακτήρια	0.001
Φυτά	0.02-2
Ψάρια	0.03-0.75
Πτηνά	0.15-0.6

Curie (Ci) και Becquerel (Bq)

Οι μονάδες αυτές μετρούν την ραδιενεργότητα ενός υλικού.

1 Ci είναι η ποσότητα ενός ραδιενεργού υλικού που υφίσταται
 37×10^9 μετατροπές σε 1 sec

Συνήθως χρησιμοποιούμε mCi ή μCi

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

Για παράδειγμα αυτό χρησιμοποιείται όταν προσλαμβάνεται κάποιο ραδιοϊσότοπο (ενδοφλεβίως , per os ή εισπνεόμενο) για ιατρικούς λόγους ή μετά από κάποιο πυρηνικό ατύχημα.

ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΕ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ

Σταθερής ετήσιας έκθεσης από το περιβάλλον
(2.2mSv).

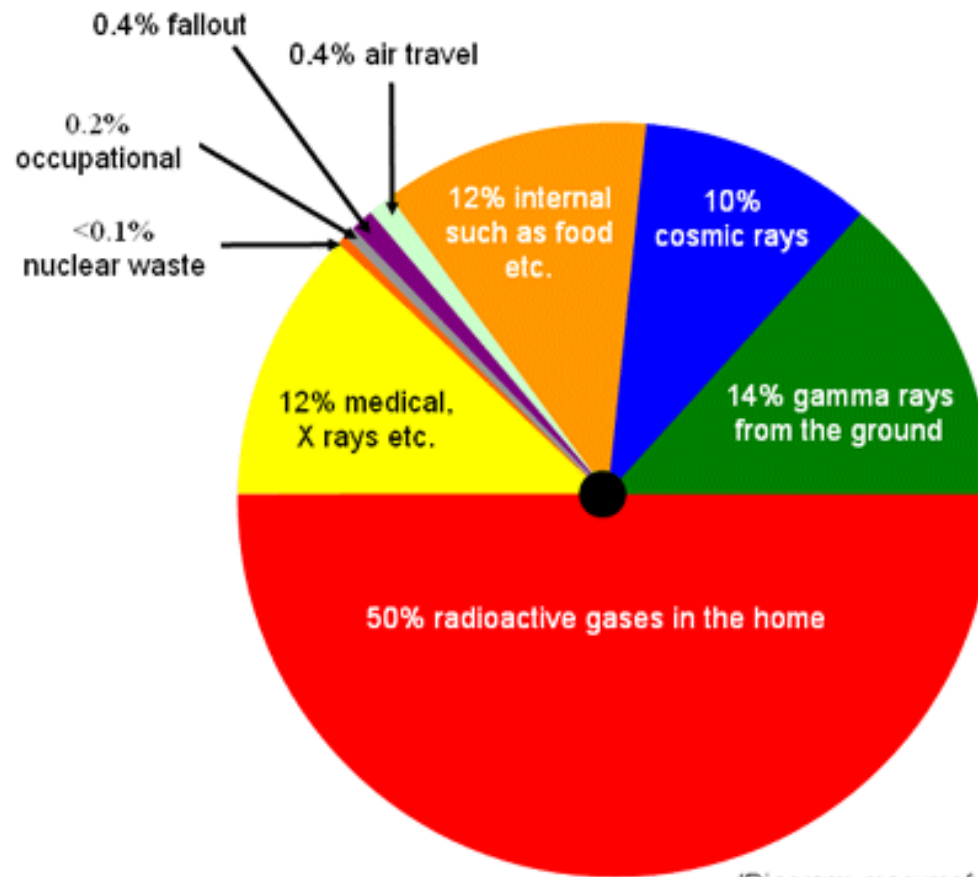
Η ICRU (International Commission for Radiological Protection) όρισε τα όρια αποδεκτής έκθεσης του πληθυσμού σε

$$<1\text{mSv/έτος} = 3\mu\text{Sv/μέρα} = 0.1\mu\text{Sv/ώρα}$$

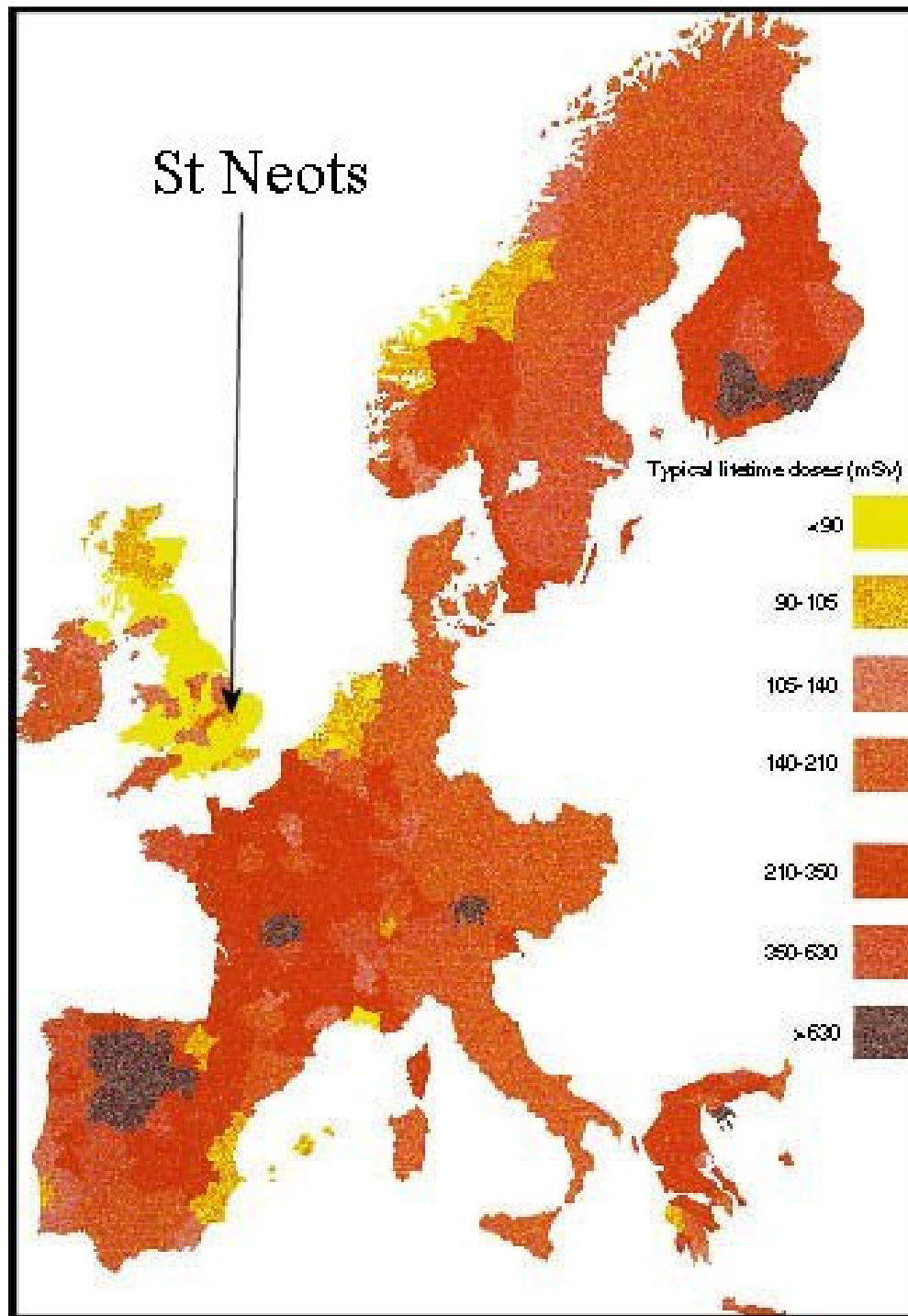
και για τους εργαζόμενους σε επαγγέλματα που σχετίζονται με την ραδιενέργεια σε

$$<15\text{mSv/έτος}$$

άνωθεν της σταθερής ετήσιας έκθεσης από το περιβάλλον
(2.2mSv).



(Diagram: resourcefulphysics.org)



1mSv/year

6mSv/year

Αποτελεσματική δόση κατά μια ακτινογραφία θώρακος (ακτίνες X)

Όργανο	Συντελεστής	Δόση (μGy)	Δόση (μSv)
γονάδες	0,25	10	2,5
μαστός	0,15	10	1,5
μυελός	0,12	5	0,6
πνεύμονες	0,12	150 (0.1mSv)	18
θυρεοειδής	0,03	5	0,1
οστά	0,03	5	0,1
στομάχι	0,06	25	1,5
ήπαρ	0,06	10	0,6
καρδιά	0,06	50	3,0

Αποτελεσματική δόση κατά μια ολοσωματική Αξονική Τομογραφία

5-10mSv ~ 1cGy

Ολοσωματική έκθεση (ατυχήματα/πόλεμος).

<1,5Gy : Χωρίς Κλινικά Σημεία

>2Gy : απλασία του μυελού εκδηλώνεται μετά την 15η μέρα

>5Gy : 50% των ασθενών υποκύπτει από την μυελική απλασία.

12-20Gy : ο θάνατος επέρχεται από εντερική βλάβη (διάρροια, αιμορραγία
διάτρηση) εντός 4-7 ημερών

>20Gy : ο θάνατος επέρχεται από εγκεφαλικό οίδημα εντός ωρών από την έκθεση λόγω
αγγειακής βλάβης

ΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

Ιδιαίτερα ακτινευαίσθητα όργανα

Όργανο	Δόση(Gy)	Επιπλοκές Ακτινοβόλησης
Ωοθήκες	5-15	Μόνιμη ή παροδική στειρότητα και μόνιμη ορμονική καταστολή
Όρχεις	5-20	Μόνιμη στειρότητα. Καμιά επίδραση στα επίπεδα των ορμονών
Φακός οφθαλμού	5-10	Καταρράκτης περιφερικού τύπου
Συζευκτικός χόνδρος	10-30	Καθυστέρηση/αναστολή ανάπτυξης
Νεφρός	15-25	Νεφρική ανεπάρκεια (ολόκληρος ο νεφρός εντός πεδίου) Τμήμα νεφρού μπορεί να δεχθεί 35-40Gy
Ήπαρ	25-35	Ηπατίτιδα, ανεπάρκεια, νέκρωση (ολόκληρο το ήπαρ εντός πεδίου) Τμήμα ήπατος μπορεί να δεχθεί έως 45Gy
Μυελός οστών	25-40	Πλήρης στείρωση ακτινοβολημένου τμήματος. Σε ολοσωματική ακτινοβόληση η δόση στείρωσης του μυελού είναι 8-10Gy (εφάπαξ)
Πνεύμονας	20-50	Ακτινική πνευμονίτιδα – ίνωση. Και οι δύο πνεύμονες αντέχουν δόση <14Gy. Ο ένας <20Gy, ενώ τμήμα του πνεύμονος 40-60Gy
Καρδιά	40-55	Περικαρδίτιδα (ολόκληρη η καρδιά εντός πεδίου), Βλάβη αγγείων-μυοκαρδίου.
Λεπτό έντερο	35-50	Εντερίτιδα, στένωση, νέκρωση, διάτρηση
Παχύ έντερο	45-55	Εντερίτιδα, στένωση, νέκρωση, διάτρηση
Στόμαχος	45-50	Επίμονα μη-επουλούμενα έλκη
Νωτιαίος μυελός	40-50	Ακτινική μυελίτιδα
Τριχωτό κεφαλής	30-55	Αλωπεκία παροδική 30Gy, μόνιμη στα 50Gy
Εγκέφαλος	45-65	Εγκεφαλικό οίδημα, νέκρωση, αντιδραστική γλοίωση. Ολόκληρος ο εγκέφαλος αντέχει 40-44Gy. Μικρό τμήμα έως και 70Gy
Σιελογόνοι	45-60	Ξηροστομία. Μόνιμη αναστολή λειτουργίας όταν η δόση υπερβεί τα 60Gy

Μετρίως ακτινευαίσθητα όργανα

Όργανο	Δόση(Gy)	Επιπλοκές Ακτινοβόλησης
Ουροδόχος κύστη	55-65	Κυστίτις, ρίκνωση, έλκη, αιμορραγία
Θυρεοειδής αδένας	50-65Gy	Ανεπάρκεια έκκρισης ορμονών
Μέσο ους	55-65	Υποακουσία
Οισοφάγος	45-70	Οισοφαγίτιδα, ρίκνωση, έλκη
Βλεννογόνοι ιστοί	40-70	Βλεννογονίτιδα, έλκη
Αγγεία	50-65	Αποφρακτική ενδαρτηρίτις
Δέρμα	50-75	Δερματίτις, τηλαγγειεκτασίες, έλκη

Ακτινοάντοχα όργανα

Όργανο	Δόση(Gy)	Επιπλοκές Ακτινοβόλησης
Μήτρα,κόλπος	60-70	Στένωση κόλπου
Οστά	60-75	Κάταγμα, νέκρωση
Μύες	60-70	Σκλήρυνση, ρίκνωση
Μεγάλες αρτηρίες	65-75	Στένωση
Συνδετικός ιστός	60-70	Ίνωση

Photon scattering

1. Ελαστική διάθλαση (elastic scattering) ή φαινόμενο Thomson/ Rayleigh.

Εδώ το φωτόνιο αντανακλάται πάνω σε ηλεκτρόνια των ατόμων χωρίς να χάνει ενέργεια. Το ηλεκτρόνιο θεωρείται 'δεσμευμένο' και έτσι το φαινόμενο αφορά υλικά με μεγάλο Z και ακτινοβολίες χαμηλής ενέργειας (δεσμευμένο λέγεται ένα ηλεκτρόνιο όταν βρίσκεται στην τροχιά του δεσμευμένο από ηλεκτροστατικές δυνάμεις. 'Ελεύθερο' λέγεται ένα ηλεκτρόνιο όταν είναι απαλλαγμένο από τις δυνάμεις αυτές). Το ηλεκτρόνιο αναγκάζεται να πάλεται σε συχνότητα ίση με αυτή του φωτονίου και έτσι εκπέμπει X ακτινοβολία ίσης συχνότητας αλλά προς κάθε κατεύθυνση. Έτσι συμβαίνει εξασθένηση αλλά όχι απορρόφηση. Το φαινόμενο αυτό είναι χωρίς σημασία για τις ιατρικές εφαρμογές, αλλά έχει μεγάλο ρόλο στη μελέτη δομής υλικών (X-ray crystallography).

2. Ανελαστική διάθλαση (inelastic scattering) ή φαινόμενο Compton.

Πρόκειται για αλληλεπίδραση φωτονίου με ελεύθερο ηλεκτρόνιο, εμφανίζοντας τη μορφή μιας σύγκρουσης δύο σφαιρών μπιλιάρδου. Το φωτόνιο που ανακλάται έχει μικρότερη ενέργεια και το υπόλοιπο της αρχικής ενέργειας το λαμβάνει το ηλεκτρόνιο σε μορφή κινητικής ενέργειας. Έτσι το φαινόμενο Compton καταλήγει σε εξασθένηση και απορρόφηση της ακτινοβολίας. Οι υψηλές ενέργειες υφίστανται λιγότερο το φαινόμενο αυτό σε σχέση με φωτόνια χαμηλών ενεργειών. Το φαινόμενο Compton εξαρτάται από τον αριθμό των υπαρχόντων ελεύθερων ηλεκτρονίων. Όλα τα στοιχεία (με εξαίρεση το υδρογόνο) έχουν περίπου τον ίδιο αριθμό e/gr και έτσι πρακτικά ίδια ηλεκτρονική πυκνότητα. Αυτό σημαίνει ότι για όλα τα υλικά το σ συντελεστής διάθλασης είναι ίδιος (εκτός του H) και ελαττώνεται με την αύξηση της ενέργειας του φωτονίου. Όσο μεγαλύτερη η ενέργεια του φωτονίου, τόσο αυξάνει η γωνία του ηλεκτρονίου που αποσπάται και η ενέργεια που του προσδίδεται.

Χαρακτηριστικό επίσης είναι το ότι όσο μεγαλύτερη η ενέργεια του φωτονίου, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό αυτής προσλαμβάνεται από το ηλεκτρόνιο

Disappearance phenomena

1. Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Εδώ ένα φωτόνιο εξαφανίζεται όταν δράσει πάνω σ' ένα δεσμευμένο ηλεκτρόνιο. Η ενέργειά του δαπανάται για να δώσει στο ηλεκτρόνιο την ενέργεια διαφυγής και κινητική ενέργεια. Το άτομο πλέον γίνεται ιονισμένο και έλκει ένα ηλεκτρόνιο, εκπέμποντας την χαρακτηριστική ακτινοβολία της στιβάδας του στοιχείου που υπέστη το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Για τα στοιχεία χαμηλού ατομικού βάρους (όπως σε όλα τα βιολογικά υλικά) η χαρακτηριστική ακτινοβολία είναι πολύ μικρής ενέργειας και απλώς απορροφάται από το γύρω υλικό. Στα στοιχεία όμως με μεγάλο ατομικού βάρους (όπως τα φίλτρα ακτίνων), η εκπεμπόμενη ενέργεια έχει ιδιαίτερη σημασία.

2. Παραγωγή ζεύγους (pair production)

Όταν ένα φωτόνιο ενέργειας $>1,02\text{MeV}$ περάσει κοντά από πυρήνα ενός ατόμου, εξαφανίζεται υλοποιούμενο σε ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο. Δηλ. παράγεται ένα ζευγάρι με συνολικό φορτίο μηδέν. Αν υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή αποδίδεται σαν κινητική ενέργεια των σωματιδίων. Το ποζιτρόνιο μετά θα αντιδράσει με ένα ηλεκτρόνιο που θα βρει κατά την πορεία του και θα απαυλωθούν σε δύο φωτόνια $0,51\text{MeV}$ έκαστο. Αυτή είναι και η χαρακτηριστική ενέργεια που παράγεται κατά το φαινόμενο παραγωγής ζεύγους

3. Φωτο-πυρηνική αντίδραση

Εδώ αν το φωτόνιο έχει ενέργεια μεγαλύτερη απ'αυτή που συγκρατεί το πρωτόνιο μέσα στον πυρήνα, μπορεί να μπει μέσα στον πυρήνα και να προκαλέσει την αποβολή ενός σωματιδίου (p ή n). Η ενέργεια που απαιτείται γι' αυτό είναι $>10\text{MeV}$ και η πιθανότητα να συμβεί αυξάνει μέχρι τα 15MeV περίπου. Μετά ελαττώνεται. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να καταλήξει στην παραγωγή ραδιενεργού πυρήνα και εκπομπή νετρονίων που είναι ένα πρόβλημα στην ακτινοπροστασία κατά την ακτινοθεραπεία με υψηλές ενέργειες X ακτινοβολίας (18-25MV).