

The background is a light blue gradient. It features several abstract elements: a large, dense cluster of small blue spheres on the left; a network of thin, intersecting lines and larger blue spheres on the right; and a single white sphere at the bottom center. The text is overlaid on this background.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ  
ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ



# ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ

## Συνοπτικό περιεχόμενο

---

2.1 Εισαγωγή

2.2 Έκθεση

2.3 Απορροφούμενη δόση

2.4 Ισοδύναμη δόση

2.5 Ενεργός δόση

2.6 Όργανα Μέτρησης της Ακτινοβολίας

Περίληψη



## Σ τ ό χ ο ι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να αναφέρεις τις μονάδες δοσιμετρίας
2. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Θάλαμος Ιονισμού
3. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Απαριθμητής Geiger-Muller
4. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Απαριθμητής Σπινθηρισμών
5. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Ανιχνευτής Cutie Pie
6. Να αναφέρεις τη χρησιμότητα όλων των πιο πάνω Ανιχνευτών
7. Να περιγράψεις τα Προσωπικά Δοσίμετρα, Φωτογραφικό, Θερμοφωταύγειας (TLD), και Αμέσου Αναγνώσεως (στυλοδοσίμετρα)

## Ο ρ ο λ ο γ ί α

Ανιχνευτής σπινθηρισμών  
Απορροφούμενη δόση  
Γραμμική μεταφορά  
ενέργειας  
Δοσιμετρία  
Δοσίμετρο  
θερμοφωταύγειας  
Έκθεση  
Ενεργός δόση  
Θάλαμος ιονισμού  
Ισοδύναμη δόση

Μετρητής Geiger Muller  
Προσωπικό δοσίμετρο  
Στυλοδοσίμετρο  
Φθορισμός  
Φωτογραφικό δοσίμετρο  
Φωσφορισμός  
Gray  
rad  
Roentgen  
Sievert

## 2.1. Εισαγωγή

Για περίπου 50 χρόνια από τότε που ανακαλύφθηκαν οι ακτίνες X και γενικότερα τα ραδιενεργά στοιχεία παρατηρήθηκαν έντονες βλάβες κυρίως στο δέρμα των ασχολουμένων αλλά και αλλοιώσεις στο αιμοποιητικό τους σύστημα. Αβίαστα συνδέθηκαν άμεσα οι επιπτώσεις των ακτινοβολιών όταν προσπίπτουν στον άνθρωπο. Όμως δεν ήταν γνωστοί οι μηχανισμοί που προκαλούν τέτοιου είδους βιολογικά αποτελέσματα και γι' αυτό οι θάνατοι θεωρούνταν ως φυσικό επακόλουθο. Η φυσική και η τεχνολογία ανέτρεψαν σταδιακά αυτά τα δεδομένα, επειδή κατασκευάστηκαν όργανα ανίχνευσης της ακτινοβολίας κι επομένως υπήρχε η δυνατότητα υπολογισμού της. Αυτό το βήμα αυτομάτως άνοιξε το δρόμο της ακτινοπροστασίας, μιας κι οι πειραματισμοί προς την κατεύθυνση αυτή δεν σταμάτησαν ποτέ.

## 2.2. Έκθεση

Η περιγραφή μιας δόσης απαιτεί τη γνώση των χαρακτηριστικών της, δηλαδή της Ενέργειας, του πλήθους σωματιδίων ή φωτονίων. Επειδή αυτά τα μεγέθη είναι δύσκολο να προσδιορισθούν, οι επιστήμονες κατέφυγαν στη μέτρηση του ιονισμού που προκαλεί μια δόση ακτινοβολίας στον αέρα. Αυτή η διαδικασία είναι σχετικά εύκολη, εφόσον είναι γνωστό, ότι η σύγκρουση μιας ακτινοβολίας με τα μόρια του αέρα προκαλεί ζεύγη ιόντων και γενικά για κάθε απώλεια ενέργειας 33eV δημιουργείται ένα ζεύγος ιόντων. Η επιλογή του αέρα έγινε με κριτήριο την εύκολη επανάληψη των μετρήσεων σ' αυτόν. Στη συνέχεια για να αξιοποιηθούν αυτά τα ιόντα θα έπρεπε να συλλεγούν με τη βοήθεια ενός κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος.

Μ' αυτό το σκεπτικό ορίστηκε κι η πρώτη έννοια μέτρησης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας που ονομάζεται Έκθεση. Η Έκθεση X είναι ο λόγος του αθροίσματος των ηλεκτρικών φορτίων των ιόντων που παράχθηκαν μέσα σ' ένα στοιχειώδη όγκο αέρα μάζας  $\Delta m$

$$X = \Delta Q / \Delta m$$

Μονάδα έκθεσης είναι το Roentgen(R) και ορίζεται  $1R = 2,58 \cdot 10^{-4}$  Coulombs/kg αέρα.

Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο ρυθμός έκθεσης και εκφράζεται με το λόγο της έκθεσης προς τη μονάδα του χρόνου  $D = \Delta X / \Delta t$  σε R/h και R/min.

Στο σύστημα CGS  $1R=1HSM-Q/0,001293g$  αέρα.

Η ποσότητα  $0,001293g$  αέρα αντιστοιχεί σε  $1cm^3$  αέρα υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης ( $0^\circ C$ ,  $760mmHg$ ).

Τα υποπολλαπλάσια του R είναι  $1mR=10^{-3}R$  και  $1\mu R=10^{-6}R$ .

Η ενέργεια που αντιστοιχεί στην έκθεση  $1R$  ισοδυναμεί με  $86,9erg$ .

## 2.3. Απορροφούμενη δόση

Όταν μια δέσμη ακτινοβολίας προσπέσει σε οποιοδήποτε υλικό, για παράδειγμα στους ιστούς ενός ανθρώπου, παρατηρούνται μεταβολές της ενέργειάς της οι οποίες οφείλονται στις συνεχείς συγκρούσεις με τους ιστούς. Οι μεταβολές αυτές της ενέργειας απορροφήθηκαν από τους ιστούς και μεταφράστηκαν σε ιονισμούς, διεγέρσεις, χημικά, φυσικοχημικά και βιολογικά φαινόμενα.

Σε όλους τους τομείς εφαρμογών ακτινοβολιών και ιδιαίτερα στον άνθρωπο, ενδιαφέρει το ποσό της ενέργειας που απορροφήθηκε αλλά σε συγκεκριμένη ποσότητα υλικού. Γι' αυτό κρίθηκε αναγκαίο να οριστεί η έννοια της απορροφούμενης δόσης  $D$ , ως ο λόγος

$$D=\Delta E/\Delta m$$

όπου  $\Delta E$  η ενέργεια που απορροφήθηκε εντός ενός στοιχειώδους όγκου μάζας  $\Delta m$ .

Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI μονάδα απορροφούμενης δόσεως είναι το Gray (Gy) προς τιμή του Αμερικάνου φυσικού που ασχολήθηκε με τις μετρήσεις γενικά των ακτινοβολιών και ορίζεται  $1Gy=1J/kg$ , δηλαδή η εναπόθεση ενέργειας  $1Joule$  εντός  $1kg$  ύλης.

Παλαιότερα ως μονάδα απορροφούμενης δόσεως χρησιμοποιούνταν το rad, το οποίο ορίσθηκε ως η απορροφούμενη ενέργεια  $100erg$  σε  $1g$  υλικού

$$1rad=100erg/g$$

και  $1rad=10^{-2}Joule/kg$ .

Σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν  $1Gy=100rad$ .

Χρησιμοποιείται κι ο ρυθμός απορροφούμενης δόσεως που είναι το πηλίκο  $\Delta D / \Delta t$  και εκφράζεται σε  $rad/h$ ,  $rad/min$  αλλά και  $Gy/h$ ,  $Gy/min$ .

Οι ρυθμοί απορροφούμενης δόσεως εκφράζονται σε  $cGy/h$ ,  $cGy/min$ .

Ο κλάδος που ασχολείται με την απορροφούμενη δόση ονομάζεται Δοσιμετρία.

## 2.4. Ισοδύναμη δόση

Η έννοια της ισοδύναμης δόσης (Dose equivalent DE) αναφέρεται σε βιολογικά συστήματα και εστιάζεται στη μέτρηση της έκθεσης του ανθρώπου. Έχει παρατηρηθεί ότι για την αυτή απορροφούμενη δόση αλλά για διαφορετική ποιότητα ακτινοβολίας, οι βιολογικές επιπτώσεις τους στον άνθρωπο ποικίλουν. Και τούτο οφείλεται στον τρόπο δράσης στους ιστούς. Συγκεκριμένα κάθε ακτινοβολία καθορίζεται από τη Γραμμική Μεταφορά Ενέργειας (Linear Energy Transfer) κι εκφράζεται σε keV/μ, αντιστοιχεί δε σ' ένα συντελεστή Q (συντελεστής ποιότητας).

Επομένως Ισοδύναμη δόση  $H_R$  είναι η απορροφούμενη δόση  $D$  σε ιστό ή όργανο διορθωμένη με τον παράγοντα βαρύτητας της ακτινοβολίας  $W_R$  για το είδος και την ποιότητα της ακτινοβολίας  $R$

$$H_R = W_R \cdot D$$

Αν η απορροφούμενη δόση εκφράζεται σε Gy, τότε η ισοδύναμη δόση στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) εκφράζεται σε Sievert (Sv).

Αν η απορροφούμενη δόση εκφράζεται σε rad, τότε αντίστοιχα η  $H$  σε rem.

Κι επειδή  $1\text{Gy}=100\text{rad}$  έπεται ότι  $1\text{Sv}=100\text{rem}$  και  $1\text{mSv}=100\text{mrem}$

Οι τιμές του παράγοντα βαρύτητας της ακτινοβολίας  $W_R$  για διάφορες ακτινοβολίες παρατίθενται στον επόμενο πίνακα

Ακτινοβολία	$W_R$
Ακτίνες X,γ,e	1
Νετρόνια ενέργειας <10 keV	5
Πρωτόνια, ταχέα νετρόνια, Ακτίνες α	20

## 2.5. Ενεργός δόση

Είναι αναμφισβήτητο ότι μερικοί ιστοί ή όργανα του ανθρώπινου οργανισμού είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην ακτινοβολία και γι'αυτό χαρακτηρίζονται από συντελεστές βαρύτητας. Έτσι είναι απαραίτητο η εισαγωγή του όρου της Ενεργού Δόσης(E) με μονάδα αυτής το Sievert.

Η Ενεργός Δόση  $E$  είναι το άθροισμα της ισοδύναμης δόσης σε κάποιο ιστό ή όργανο πολλαπλασιασμένο με το συντελεστή βαρύτητας κάθε ιστού  $W_T$ .

$$E = \sum W_T \cdot H_R$$

Τον υψηλότερο συντελεστή έχουν οι γονάδες, όπως φαίνεται και στον πίνακα.

Ιστοί	Συντελεστής
Γονάδες	0,20
Μυελός οστών, κόλον, πνεύμονας, στομάχος	0,12
Κύστη, μαστός, ήπαρ, οισοφάγος, θυρεοειδής	0,05
Επιφάνεια οστών, δέρμα	0,01
Υπόλοιποι	0,05

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις διάφορες μονάδες μέτρησης των ιοντιζουσών ακτινοβολιών:

Φυσικό μέγεθος	Παλαιά μονάδα	Νέα μονάδα(SI)	Ονομασία	Συσχέτιση
<b>Έκθεση</b>	Roentgen (R)	Cb/kg	-	$1R=2,58 \cdot 10^{-4}$ Cb/Kg αέρα
<b>Απορροφούμενη δόση</b>	Rad	J/kg	Gray (Gy) $1Gy = 100$ rads	$1rad = 0.01$ Gy
<b>Ισοδύναμη δόση</b>	Rem	J/kg	Sievert (Sv) $1Sv = 100$ rem	$1rem = 0.01$ Sv
<b>Ραδιενέργεια (ενεργότητα)</b>	Curie (Ci)	1/sec	Becquerel (Bq)	$1Ci = 3.7 \cdot 10^{10}$ Bq $1Bq = 2.70 \cdot 10^{-11}Ci$

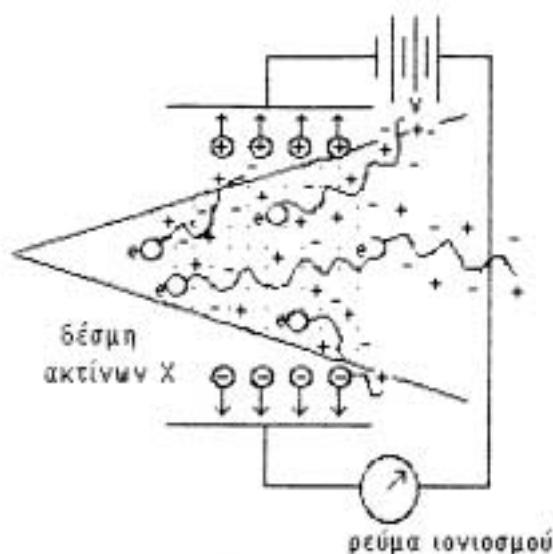
**Πίνακας.2.1. Μονάδες μέτρησης των ιονιζουσών ακτινοβολιών.**

## 2.6. Όργανα μέτρησης της ακτινοβολίας

Για κάθε εφαρμογή οποιασδήποτε ακτινοβολίας επιβάλλεται άλλοτε η ακριβής μέτρηση κι άλλοτε η ανίχνευση της.

### 2.6.1.Θάλαμος Ιονισμού

Ο θάλαμος ιονισμού είναι ένα όργανο μέτρησης της ακτινοβολίας και λειτουργεί ως εξής: Δύο ηλεκτρόδια - θετικό και αρνητικό - συνδέονται μ' ένα συσσωρευτή και παρεμβάλλεται στο κύκλωμα κι ένα γαλβανόμετρο.



**Σχ.2.1. Θάλαμος ιονισμού.**

Ο θάλαμος που περιλαμβάνει τα δύο ηλεκτρόδια περιέχει αέριο, όπως αέρα ή μείγμα αερίων.

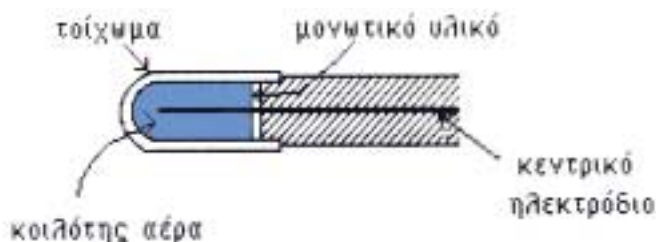
Η  $\gamma$  ακτινοβολία ή  $X$  που προσπίπτει στο θάλαμο συγκρούεται με τα μόρια του αερίου και δημιουργεί δευτερογενή ηλεκτρόνια. Η σύγκρουση αυτή έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ενέργειας της ακτινοβολίας κατά το ποσό της ενέργειας που μεταβιβάζεται στα ηλεκτρόνια. Κατόπιν τα ηλεκτρόνια συγκρούονται μέσα στο θάλαμο με τα μόρια του αερίου και δημιουργούν ζεύγη ιόντων, τα οποία οδεύουν στο θετικό ή αρνητικό ηλεκτρόδιο ανάλογα με το αρνητικό ή θετικό φορτίο τους. Για την προσέλκυση των ιόντων πρέπει η τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων να είναι ισχυρή. Στην αντίθετη περίπτωση τα περισσότερα ιόντα θα επανασυνδεθούν, άρα η μέτρηση θα είναι αναξιόπιστη. Το γαλβανόμετρο μετρά το ηλεκτρικό ρεύμα που κυκλοφορεί το οποίο είναι μικρής έντασης και γι' αυτό με τη βοήθεια ενισχυτή καθίσταται ισχυρό.

Ο θάλαμος ιονισμού έχει τοιχώματα από ελαφρά υλικά αλλά και ισοδύναμα αέρα ή ισοδύναμα ιστού και χρησιμοποιείται για ακριβή υπολογισμό της ακτινοβολίας και μάλιστα ως ρυθμόμετρο ( $R/h$ ,  $mR/h$ ) και ως ανιχνευτής χώρων για τον έλεγχο της ακτινοβολίας. Για να υπάρχει δυνατότητα μέτρησης της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα σημεία όπως:

**α.** Στην είσοδο και έξοδο της ακτινοβολίας στο κέντρο του πεδίου κατά τη λήψη μιας ακτινοβολίας.



**β.** Σε διάφορα σημεία μιας ακτινοβολούμενης περιοχής κατά την ακτινοθεραπεία απαιτείται θάλαμος ιονισμού μικρών διαστάσεων. Σ' αυτήν την περίπτωση ο θάλαμος είναι της τάξεως ολίγων mm<sup>2</sup> και ονομάζεται θάλαμος ιονισμού τύπου δακτυλήθρας. Το σχήμα του θαλάμου αυτού είναι το ακόλουθο.

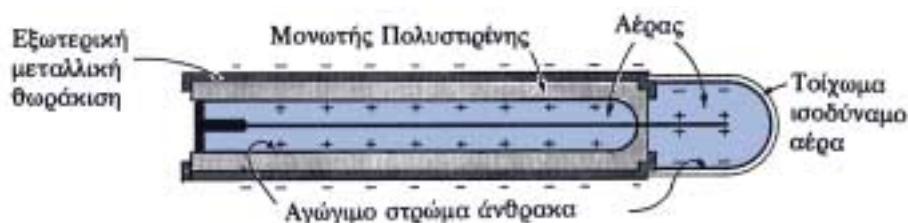


**Σχ.2.2. Θάλαμος ιονισμού τύπου δακτυλήθρας.**

Το ένα ηλεκτρόδιο είναι το περίβλημα του θαλάμου και το άλλο βρίσκεται στο κέντρο του θαλάμου. Ο θάλαμος για να μετρά με ακρίβεια πρέπει να τίθεται στην δέσμη ακτινοβολίας πάντα με το κεντρικό ηλεκτρόδιο κάθετο στη διεύθυνση της προς μέτρηση ακτινοβολίας. Ο θάλαμος αυτός μας επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της έκθεσης ανά ώρα ή ανά λεπτό (ρυθμόμετρο) και μετά με τη βοήθεια συντελεστών υπολογίζεται ο ρυθμός δόσεως.

### 2.6.2. Θάλαμος τύπου πυκνωτή

Είναι συνδυασμός θαλάμου ιονισμού τύπου δακτυλήθρας με έναν πυκνωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα.

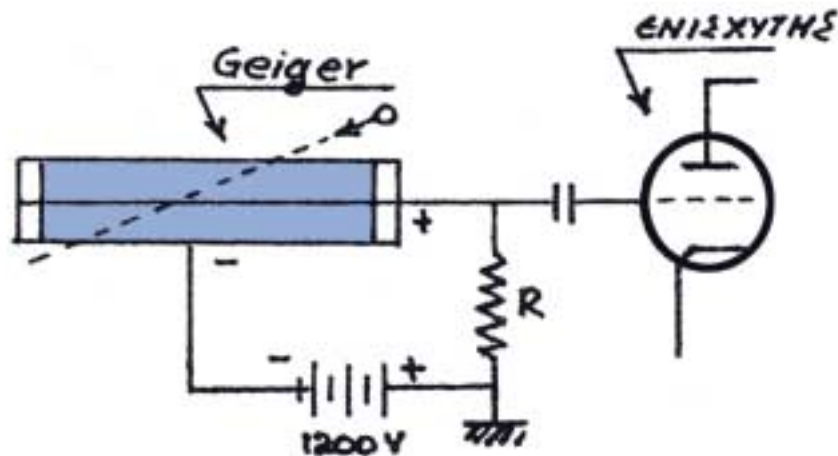


**Σχ.2.3. Θάλαμος τύπου πυκνωτή.**

Διαφέρει ως προς το μήκος του (10cm) και τη ποσότητα του αέρα. Πριν να εκτεθεί στην ακτινοβολία φορτίζεται τοποθετούμενος εντός φορτιστή. Μετά την έκθεση τα παραχθέντα ιόντα αποφορτίζουν τα ηλεκτρόδια και από το μέγεθος της αποφόρτισης υπολογίζεται η έκθεση. Η περιοχή μετρήσεων αυτού του τύπου των θαλάμων είναι από μερικά mR μέχρι μερικές εκατοντάδες R.

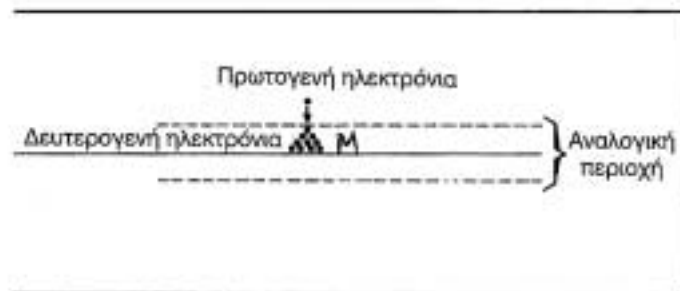
### 2.6.3. Μετρητής Geiger-Muller (GM)

Αποτελείται από μια κυλινδρική μεταλλική Κάθοδο, ένα σύρμα μονωμένο στη θέση του Άξονα του Κυλίνδρου, την Άνοδο όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4. Μεταξύ Ανόδου Καθόδου επικρατεί πολύ υψηλή τάση σαφώς μεγαλύτερη από αυτή του θαλάμου ιονισμού.



Σχ. 2.4. Μετρητής Geiger-Muller

Μείγμα συνήθως από Αργό και Ήλιο γεμίζει το χώρο του απεριθμητή υπό πίεση μίας ατμόσφαιρας. Όταν ένα σωματίδιο περάσει από το θάλαμο, δημιουργεί πρωτογενή ζεύγη ιόντων (ιόν και ηλεκτρόνιο). Αν η διαφορά δυναμικού μεταξύ Ανόδου-Καθόδου είναι επαρκής, το ηλεκτρικό πεδίο κοντά στο κεντρικό ηλεκτρόδιο στην Άνοδο, είναι τόσο ισχυρό, ώστε να δώσει στα ηλεκτρόνια μεγάλη ταχύτητα. Αυτά με τη σειρά τους ιονίζουν τα άτομα του αερίου του θαλάμου δημιουργώντας μια χιονοστιβάδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5.



Σχ.2.5. Χιονοστιβάδα στον Geiger Muller.

Η πληθώρα των ιονισμένων ατόμων βρίσκεται σε μια διεγερμένη κατάσταση, τα οποία υπό την επίδραση της υψηλής διαφοράς δυναμικού αποδιεγείρονται και εκπέμπουν ενέργεια  $h\nu$ . Η αποφόρτιση αυτή καταγράφεται με τη βοήθεια του πυκνωτή ως ένας ηλεκτρικός παλμός. Αμέσως μετά την αποφόρτιση ο απαριθμητής G-M είναι έτοιμος για νέα μέτρηση.

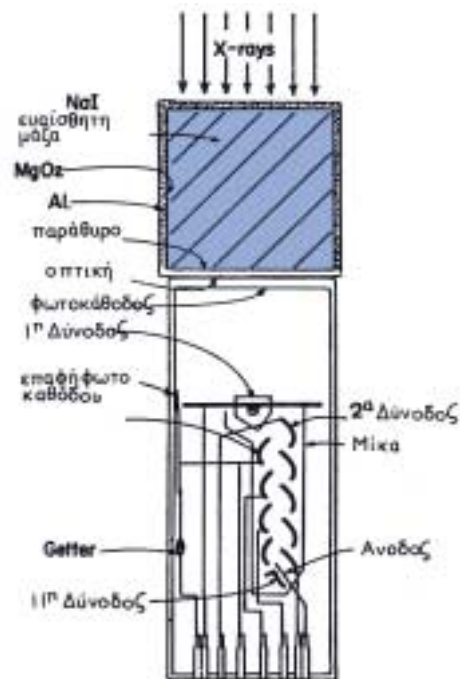
Ο G-M είναι περισσότερο ευαίσθητος από ένα θάλαμο ιονισμού. Είναι σε θέση ν' ανιχνεύσει μεμονωμένα φωτόνια ή σωμάτια τα οποία είναι αδύνατον ν' ανιχνευθούν από θάλαμο ιονισμού. Υπόψη ότι το ύψος του παλμού είναι ανεξάρτητο από την ενέργεια. Όμως ο G-M δεν είναι ένα όργανο μέτρησης της δόσεως αλλά είναι χρήσιμος μόνο για προκαταρκτική παρακολούθηση της ύπαρξης ακτινοβολίας ενώ οι θάλαμοι ιονισμού συνιστώνται για ποσοτικές μετρήσεις. Λόγω του ότι η εξέλιξη του κάθε φαινομένου καταγραφής σωματίου διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα, υπάρχει χρόνος νέκρωσης του απαριθμητή της τάξης των 300ns κι επομένως η καταγραφή άλλου σωματίου θ' αρχίσει μετά από το συγκεκριμένο χρόνο.

Ο G-M είναι ο ενδεδειγμένος μετρητής κοσμικής ακτινοβολίας και φυσικά η παρακολούθηση της ένδειξης του οργάνου πρέπει να είναι διαρκής, μιας κι ο ρυθμός ανίχνευσης είναι μικρός. Για το λόγο αυτό ο G-M συνδέεται μ' ένα μεγάφωνο που μας ειδοποιεί για την καταγραφή της ακτινοβολίας.

#### 2.6.4. Ανιχνευτής σπινθηρισμών

Οι σπινθηριστές είναι υλικά που έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν φως (σπινθηρισμούς) όταν μέσα από τη μάζα τους διέλθει ένα φωτόνιο ακτινοβολίας X ή γ. Αν η εκπομπή του φωτός είναι ταυτόχρονη με τη διέλευση του φωτονίου, τότε το φαινόμενο λέγεται φθορισμός, αν όμως η εκπομπή συμβεί μετά από χρόνο μεγαλύτερο του  $10^{-8}s$ , τότε πρόκειται για φωσφορισμό.

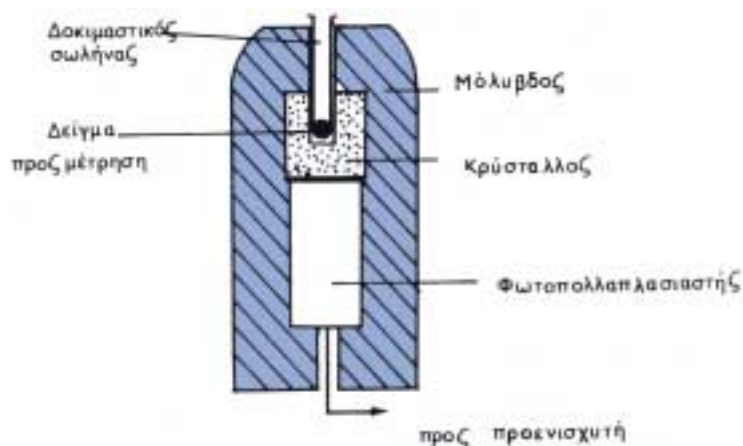
Εκμεταλλευόμενοι την παραπάνω ιδιότητα ορισμένων υλικών κατασκευάστηκαν όργανα ανίχνευσης της ακτινοβολίας, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν το εκπεμπόμενο φως σε ηλεκτρικούς παλμούς παρέχοντας πληροφορίες υπό μορφή αριθμών ή εικόνων. Το κυρίαρχο και ουσιαστικό στοιχείο του Ανιχνευτή είναι το υλικό το οποίο παράγει τους σπινθηρισμούς κι ονομάζεται σπινθηριστής. Ο πιο συνηθισμένος σπινθηριστής είναι ο Ιωδιούχου Νατρίου (NaI) με πρόσμειξη Θαλίου, του οποίου η κατασκευή είναι η ακόλουθη.



**Σχ.2.6. Ο Ανιχνευτής σπινθηρισμών NaI με τον φωτοπολλαπλασιαστή του.**

Ο κρύσταλλος συνδέεται μ' ένα φωτοπολλαπλασιαστή, του οποίου το κυρίαρχο τμήμα είναι η φωτοκάθοδος - 10 έως 12 Δύνοδοι - και η Άνοδος. Η Άνοδος συνδέεται με ενισχυτή κι ακολούθως με μετρητή. Ο κρύσταλλος περιβάλλεται από στρώμα  $MgO_2$  και τέλος καλύπτεται από Αλουμίνιο. Όταν ένα φωτόνιο ακτίνας X ή γ προσπέσει επί του κρυστάλλου NaI, τότε εμφανίζεται ένα φωτοηλεκτρόνιο, του οποίου η ενέργεια είναι υψηλή. Κατά τη διαδρομή του ηλεκτρονίου μέσα στον κρύσταλλο προκαλούνται διεγέρσεις και ιονισμοί των ατόμων του κρυστάλλου και παράγεται υπεριώδες ή ορατό φως. Τα φωτόνια αυτά κτυπούν την φωτοκάθοδο και ύστερα εκπέμπονται ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια) τα οποία υπό την επίδραση των Δυνόδων πολλαπλασιάζονται και καταλήγουν στην Άνοδο. Η συλλογή αυτών των ηλεκτρονίων μεταφράζεται σε ηλεκτρικό παλμό. Σημειώνεται ότι από ένα ηλεκτρόνιο που δημιουργείται στον κρύσταλλο φθάνουν στην Άνοδο  $10^6$  ηλεκτρόνια κι έτσι ενισχύεται ο ηλεκτρικός παλμός.

Το μέγεθος του παλμού που καταγράφεται κατά την άφιξη των ηλεκτρονίων στην Άνοδο είναι ανάλογο προς την ενέργεια του απορροφηθέντος φωτονίου εντός του κρυστάλλου. Ανιχνευτές σπινθηρισμών χρησιμοποιούνται στην γ-camera στο πεδίο της Πυρηνικής Ιατρικής. Συγκεκριμένα μ' αυτόν τον ανιχνευτή μελετάται η μορφολογία των οργάνων του σώματος με



**Σχ.2.7. Απαριθμητής σπινθηρισμών τύπου φρέατος.**

τη μέθοδο της μετατροπής των παλμών σε εικόνα. Επίσης χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση δειγμάτων Ραδιοϊσοτόπων ή in vitro εξετάσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο απαριθμητής σπινθηρισμών τύπου φρέατος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.7. Ο μολύβδινος θώρακας απαιτείται ώστε να μην αλλοιωθεί η μέτρηση από την παρουσία κοσμικής ή άλλης ακτινοβολίας λόγω της συνήθως μικρής ποσότητας ραδιενέργειας του δείγματος.

## 2.6.5. Ανιχνευτής τύπου Cutie-Pie

Ο ανιχνευτής αυτός είναι ένας θάλαμος ιονισμού κυλινδρικός μεγάλων διαστάσεων, ώστε να χρησιμοποιείται σε ελέγχους ανίχνευσης ακτινοβολιών



**Σχ.2.8. Ανιχνευτής τύπου Cutie-Pie.**

πίσω από μεγάλες επιφάνειες, όπως για παράδειγμα τοίχους. Είναι ογκώδης θάλαμος τύπου δακτυλήθρας, δηλαδή το ένα ηλεκτρόδιο είναι το περίβλημα του οργάνου και το άλλο το κεντρικό σύρμα. Εμπρός από το θάλαμο υπάρχει κάλυμμα με σκοπό να ανιχνεύει και σωματιδιακή ακτινοβολία. Είναι βαθμονομημένο σε mR/h ή mR/min.

## 2.6.6. Προσωπικά Δοσίμετρα

Οι εργαζόμενοι με ιοντίζουσες ακτινοβολίες υποχρεούνται να φέρουν το προσωπικό τους δοσίμετρο, ώστε να καταγράφεται η τυχόν έκθεσή τους στην ακτινοβολία. Διακρίνονται τρία είδη προσωπικών δοσιμέτρων. Τα φωτογραφικά, τα θερμοφωταύγειας και τα δοσίμετρα άμεσης ανάγνωσης (στυλοδοσίμετρα).

### A. Φωτογραφικά

Είναι γνωστό ότι, όταν ένα film δεχθεί ακτινοβολία τούτο αμαυρώνεται. Από τη μέτρηση της αμαύρωσης (οπτική πυκνότητα) και με την κατάλληλη βαθμονόμηση δίνεται το ποσό της Ισοδύναμης Δόσης για κάθε δοσιμετρούμενο. Το film είναι τοποθετημένο εντός πλαστικής θήκης, πολλά σημεία της οποίας διαθέτουν μικρά φίλτρα επιπλέον του πλαστικού τοιχώματος. Από τον τρόπο αμαύρωσης του film αποφαίνεται η αρμόδια υπηρεσία της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας για τη δόση του εργαζομένου (βλ.Κεφ.7) καθώς και για την ποιότητα της ακτινοβολίας που αμαύρωσε το film.

Το φωτογραφικό δοσίμετρο πρέπει να το φέρει ο εργαζόμενος ψηλά στο στήθος για να καταγράφει την ολόσωμη έκθεση. Πρέπει πάντοτε να φοριέται σε τέτοιο σημείο, ώστε να δέχεται απευθείας την ακτινοβολία. Στη περίπτωση που ο εργαζόμενος φοράει προστατευτική ποδιά από μολυβδοκαουτσούκ, τότε το φωτογραφικό δοσίμετρο φοριέται στο πέτο, δηλαδή εκτός ποδιάς.

Αν ο εργαζόμενος προτίθεται να εργαστεί με ραδιενεργές πηγές και πιστεύει ότι τα χέρια του θα εκτεθούν σε υψηλό ποσό ακτινοβολίας, τότε μπορεί να τοποθετήσει άλλο ένα φωτογραφικό δοσίμετρο στο χέρι του, ώστε να γνωρίζει την έκθεση στη συγκεκριμένη θέση.

### B. Θερμοφωταύγειας (TLD)

Τα δοσίμετρα θερμοφωταύγειας βασίζονται στην ιδιότητα που έχουν θερμαινόμενα να εκπέμπουν φως, όταν προηγουμένως έχουν δεχθεί ακτινοβολία.

Η εκπομπή φωτός μ' αυτόν τον τρόπο ονομάζεται θερμοφωταύγεια. Το ποσό του φωτός που εκπέμπεται, συνδέεται άμεσα με την ποσότητα ακτινοβολίας που δέχθηκε εργαζόμενος. Το πλέον συνηθισμένο δοσίμετρο θερμοφωταύγειας είναι LiF, είναι πιο αξιόπιστο από τα φωτογραφικά δοσίμετρα και έχει τη δυνατότητα να μετρήσει από  $10^{-5}\text{Gy}$  έως  $10^3\text{Gy}$ , δηλαδή διαθέτει μεγάλο εύρος απορροφούμενης δόσεως. Τα δοσίμετρα θερμοφωταύγειας κυκλοφορούν υπό μορφή δισκίων ή ραβδίων πολύ μικρών διαστάσεων.

### Γ. Άμεσης Ανάγνωσης (Στυλοδοσίμετρο)

Βασίζεται στην ίδια αρχή με τους θαλάμους τύπου πυκνωτή με την διαφορά ότι είναι πολύ μικρών διαστάσεων (όσο ένα στυλό). Τοποθετείται όταν ο εργαζόμενος ενδέχεται να εκτεθεί στην ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μιας εργασίας εκτός της συνηθισμένης. Συνήθως φοριούνται στο χέρι όταν πρόκειται να εργασθεί κανείς με ανοικτές πηγές υψηλής ραδιενέργειας.



Σχ.2.9. Στυλοδοσίμετρο.

## Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό με τίτλο Μονάδες και Όργανα δοσιμετρίας δίνεται ο ορισμός της Έκθεσης, της Απορροφούμενης Δόσης, της Ισοδύναμης Δόσης και της Ενεργούς Δόσης και αναφέρονται οι μονάδες τους.

Επειδή η ακτινοβολία δεν είναι ορατή, με τη βοήθεια της Φυσικής και της Τεχνολογίας κατασκευάστηκαν όργανα για την ανίχνευση και για τη μέτρησή της με ακρίβεια. Οι θάλαμοι ιονισμού τύπου δακτυλήθρας, πυκνωτή, Cutie Pie αποτελούν τα όργανα που εξυπηρετούν τις ανάγκες κάθε εργαστηρίου ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Ο μετρητής Geiger-Muller είναι ένας



ανιχνευτής ειδικά για την κοσμική ακτινοβολία και ο ανιχνευτής σπινθηρισμών έχει ευρύτερες εφαρμογές στην Πυρηνική Ιατρική.

Τέλος αναφέρονται τα προσωπικά δοσίμετρα που καταγράφουν την έκθεση των εργαζομένων, όπως τα φωτογραφικά, θερμοφωταύγειας και τα στυλοδοσίμετρα.

## Ερωτήσεις

1. Ποια είναι η μονάδα απορροφούμενης δόσεως στο Διεθνές Σύστημα
  - A. Το rad
  - B. Το rem
  - Γ. Το Roentgan
  - Δ. Τίποτα από τα πιο πάνω
2. Τι είναι το Sievert
  - A. Μονάδα ισοδύναμης δόσης
  - B. Το μήκος διαδρομής των ηλεκτρονίων
  - Γ. Μονάδα πίεσης
  - Δ. Μονάδα διαφοράς δυναμικού
3. Η απορροφούμενη δόση ορίζεται ως
  - A. Η απορρόφηση ενέργειας ανά μονάδα μάζας
  - B. Η απορροφούμενη δόση ανά μονάδα χρόνου
  - Γ. Η απορροφούμενη εβδομαδιαία δόση
  - Δ. Η ροή ρεύματος ανά min
4. Ποιο όργανο είναι κατάλληλο για ανίχνευση κοσμικής ακτινοβολίας
  - A. Το στυλοδοσίμετρο
  - B. Ο απαριθμητής Geiger-Muller
  - Γ. Ο θάλαμος ιονισμού
  - Δ. Ο θάλαμος τύπου πυκνωτή
5. Ποια η διαφορά μεταξύ ανιχνευτή σπινθηρισμών και Ανιχνευτή G-M
  - A. Περιέχουν και οι δύο αέριο
  - B. Ανιχνεύουν φωτόνια και μεσόνια
  - Γ. Ο ένας έχει κρύσταλλο για την απορρόφηση της ακτινοβολίας και άλλος αέριο υπό υψηλή τάση
  - Δ. Ο ένας έχει κρύσταλλο για την απορρόφηση της ακτινοβολίας και ο άλλος οξείδιο του Μαγγανίου ( $MgO_2$ )



6. Το φωτογραφικό δοσίμετρο
  - A. Είναι μέσο προστασίας από την ακτινοβολία
  - B. Είναι μέσο καταγραφής της ακτινοβολίας
  - Γ. Είναι μέσο ενίσχυσης της ακτινοβολίας
  - Δ. Όλα τα πιο πάνω
7. Πότε φορά υποχρεωτικά ο εργαζόμενος με ακτινοβολία στυλοδοσίμετρο
  - A. Στις εργασίες ρουτίνας
  - B. Στην αρχή κάθε μήνα
  - Γ. Στην περίπτωση ενδεχόμενης έκθεσης για μικρό χρονικό διάστημα
  - Δ. Όταν απωλέσει το φωτογραφικό του δοσίμετρο.
8. Το rad εκφράζει
  - A. την ποσότητα των παραγόμενων ιοντισμών στον αέρα
  - B. το ποσό της ενέργειας που μεταδίδεται στην ακτινοβολούμενη ύλη
  - Γ. τη διαφορά δυναμικού στα άκρα μιας λυχνίας ακτίνων X
  - Δ. τον αριθμό εκπομπών από ένα ραδιενεργό πυρήνα ανά sec
9. Η Γραμμική Μετάδοση Ενέργειας (LET) εκφράζει
  - A. το ποσό του παραγόμενου βιολογικού αποτελέσματος κατά την έκθεση
  - B. τον τύπο του παραγόμενου βιολογικού αποτελέσματος κατά την έκθεση
  - Γ. το ρυθμό εναπόθεσης της ενέργειας ανά μονάδα διαδρομής στην ύλη
  - Δ. την ακτινευαισθησία ενός συγκεκριμένου ιστού
10. Ποια από τα παρακάτω είναι μονάδα του διεθνούς συστήματος (SI);
  - A. rad
  - B. R
  - Γ. Bq
  - Δ. Ci
11. Ο παράγοντας  $W_R$  είναι χρήσιμος για τη μετατροπή
  - A. ισοδύναμης δόσης σε απορροφούμενη δόση
  - B. έκθεσης σε απορροφούμενη δόση
  - Γ. έκθεσης σε ισοδύναμη δόση
  - Δ. απορροφούμενης δόσης σε ισοδύναμη δόση

12. Η έκθεση εκφράζει την
- A. ποσότητα των παραγόμενων ιοντισμών στον αέρα
  - B. ενέργεια που εναποτίθεται στον ιστό
  - Γ. ραδιενέργεια
  - Δ. Τίποτα από τα παραπάνω
13. Ποια από τις παρακάτω μονάδες μετράει ποσότητα φορτίων;
- A. J
  - B. C
  - Γ. R
  - Δ. Hz
14. Η μονάδα \_\_\_\_\_ χρησιμοποιείται για τη δοσιμετρία προσωπικού
- A. R
  - B. rem
  - Γ. rad
  - Δ. Curie
15. 1 Gy είναι ίσο με \_\_\_\_\_ rad
- A. 0.01
  - B. 0.1
  - Γ. 10
  - Δ. 100

## Απαντήσεις

1. Δ
2. Α
3. Α
4. Β
5. Γ
6. Β
7. Γ
8. Β
9. Γ
10. Γ
11. Δ
12. Α
13. Β
14. Β
15. Δ

