

Μελέτες-Αναλύσεις

27 Ιουνίου 2013



www.ArmsControl.gr

Στρατιωτικές εφαρμογές των ανιχνευτών ακτινοβολίας Geiger - Müller

του Δρ. Άγγελου Βορβολάκου
Φυσικού Υψηλών Ενεργειών
Λέκτορα Π.Δ. 407 - Σ.Σ.Ε.
Ερευνητή του ΕΚΕΟ

Στρατιωτικές εφαρμογές των ανιχνευτών ακτινοβολίας Geiger - Müller

*του Δρ. Άγγελου Βορβολάκου
Φυσικού Υψηλών Ενεργειών
Λέκτορα Π.Δ.407 στη Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων
Ερευνητή του ΕΚΕΟ*

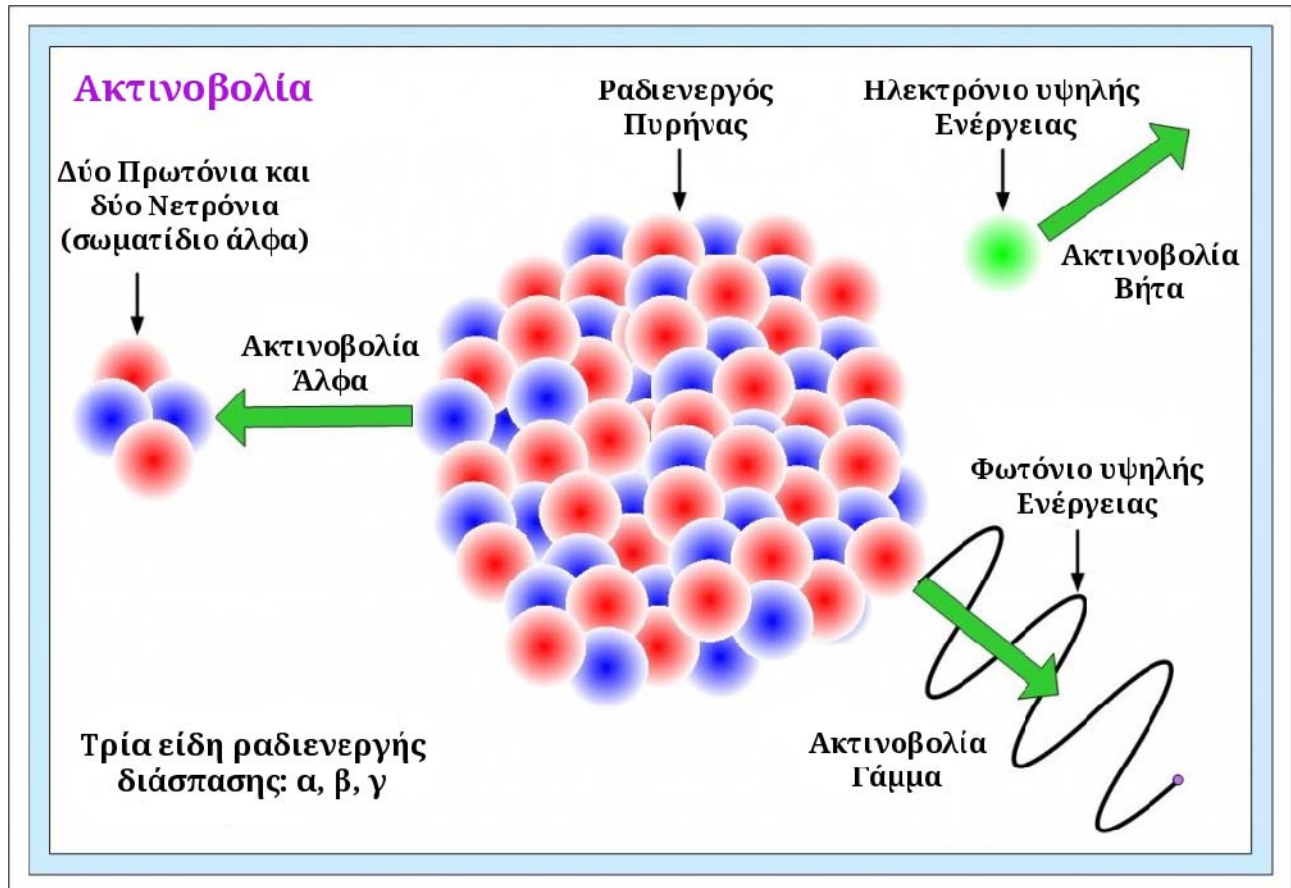
Εισαγωγή

Η ύπαρξη ραδιενέργειας / ραδιενεργών υλικών σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους δεν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί μέσω των ανθρώπινων αισθήσεων. Για το λόγο αυτό απαιτείται η χρήση κατάλληλων συσκευών οι οποίες προειδοποιούν το προσωπικό σχετικά. Κατά τις στρατιωτικές επιχειρήσεις όπου απαιτείται η διασφάλιση της καθαρότητας ενός χώρου από ραδιενέργεια ή ραδιενεργά υλικά, χρησιμοποιούνται ανιχνευτικές διατάξεις οι οποίες προσφέρουν τις απαραίτητες ενδείξεις αλλά και μετρήσεις για αυτό το σκοπό. Οι συσκευές αυτές πρέπει να πληρούν μια σειρά προδιαγραφών έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η χρήση τους από μεγάλο μέρος του προσωπικού χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις και εκπαίδευση αλλά ταυτόχρονα να επιτρέπουν τον προσδιορισμό του επιπέδου κινδύνου με σχετική ακρίβεια. Σύμφωνα με την ένταση της ακτινοβολίας στο επιχειρησιακό χώρο, καθορίζεται και το χρονικό παράθυρο βάσει του οποίου το προσωπικό μπορεί να εκτελέσει την εντεταλμένη του εργασία εκεί με ασφάλεια. Κατ' ελάχιστον, ένα σύστημα ανίχνευσης ραδιενέργειας θα πρέπει να μπορεί να προειδοποιήσει το χρήστη πως το επίπεδο ραδιενέργειας στον επιχειρησιακό χώρο είναι υψηλότερο από μια αρχικά προσδιορισμένη τιμή. Το αριθμητικό μέγεθος της τιμής αυτής θα πρέπει να είναι μεταβλητό από τον χρήστη έτσι ώστε να καλύπτονται διάφορες παράμετροι και προδιαγραφές προστασίας. Η προειδοποίηση αυτή θα πρέπει να είναι και οπτική / ποσοτική στην οθόνη του οργάνου αλλά και ακουστική έτσι ώστε να μην απαιτείται συνεχής παρακολούθηση του οργάνου.

Η σύσταση της ραδιενέργειας

Τα βασικά συστατικά του φυσικού φαινομένου που ονομάζεται καθολικά ραδιενέργεια είναι οι ακτίνες α , β , γ και τα νετρόνια. Η ραδιενέργεια αποτελεί απόρροια της τάσης ορισμένων ατομικών πυρήνων να διασπαστούν κατά την προσπάθειά τους να βρεθούν σε ενεργειακά πιο "συμφέρουσα" κατάσταση (σε κατάσταση δηλαδή που χαρακτηρίζεται από μικρότερη ενέργεια σε σχέση με την αρχική). Κατά τη διαδικασία της ραδιενεργής διάσπασης, ο αρχικός (μητρικός) ραδιενεργός πυρήνας, μπορεί να μετατραπεί σε μια σειρά ενδιάμεσων (θυγατρικών) πυρήνων οι οποίοι μπορεί επίσης να είναι ραδιενεργοί. Η τυπική κατάληξη κάθε ραδιενεργού στοιχείου σε ένα μη ραδιενεργό στοιχείο αποτελεί μια διαδικασία με απροσδιόριστη χρονική διάρκεια, όσον αφορά στην ασφάλεια του προσωπικού το οποίο επιχειρεί σε χώρο με ραδιενέργεια. Επιπρόσθετα, η παρουσία των θυγατρικών πυρήνων είτε αυτόνομα είτε σε διάφορες χημικές ενώσεις, σηματοδοτεί και ακόμα έναν κίνδυνο καθώς οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες μπορεί να διαφέρουν από αυτές της αρχικής ραδιενεργής ουσίας. Η συνεχής και αξιόπιστη ανίχνευση των επιπέδων ραδιενέργειας μέσω των κατάλληλων ανιχνευτικών διατάξεων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφάλεια του προσωπικού σε ανάλογες συνθήκες. Οι ακτίνες α , β , γ και τα νετρόνια όποιες και αν είναι οι πηγές τους, αποτελούν και τα είδη ακτινοβολίας (σωματιδιακής φύσεως ή ηλεκτρομαγνητικής) τα οποία καθιστούν την περιοχή επιχειρήσεων επικίνδυνη λόγω της αλληλεπίδρασής τους με το

ανθρώπινο σώμα. Η αλληλεπίδραση αυτή ανάλογα με τη φύση της ακτινοβολίας και την έντασή της μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα αλλά και βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα. Ένας σημαντικός κίνδυνος επικεντρώνεται στην πιθανότητα εισαγωγής των ραδιενεργών ουσιών στο ανθρώπινο σώμα μέσω επαφής ή κυρίως αναπνοής. Στην περίπτωση αυτή, ο κίνδυνος αυξάνει σημαντικά καθώς η ραδιενεργή ακτινοβολία μέσα στο ανθρώπινο σώμα επηρεάζει συνεχώς βασικά όργανα και ιστούς. Για το λόγο αυτό, καθίσταται αναγκαία η χρήση προστατευτικών στολών αλλά και συσκευών φιλτραρίσματος του αέρα αναπνοής του προσωπικού που επιχειρεί σε χώρους με ραδιενέργεια. Σε κάθε περίπτωση όμως το πρωταρχικό στάδιο είναι η ανίχνευση αυτής.



Εικόνα 1: Διαγραμματική απεικόνιση του φυσικού φαινομένου της ραδιενέργειας. Διακρίνεται ο αρχικός (μητρικός) ραδιενεργός πυρήνας και τα τρία βασικά είδη ακτινοβολίας τα οποία προκύπτουν κατά τη ραδιενεργή του αποδιέγερση.

- **[ακτίνες α]** Πρόκειται για ακτινοβολία σωματιδιακής φύσεως η οποία απαντάται στη φυσική ραδιενέργεια. Αποτελείται από πυρήνες του στοιχείου Ηλίου και ουσιαστικά πρόκειται για ένα συσσωμάτωμα δύο πρωτονίων και δύο νετρονίων. Αυτό το είδος ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται από ισχυρή αλληλεπίδραση με την ύλη (λόγω του φορτίου (+2) αλλά και της μάζας του) αποτέλεσμα της οποίας είναι η χαμηλή διεισδυτική της ικανότητα. Η ακτινοβολία άλφα δεν μπορεί να διαπεράσει ένα φύλλο χαρτί και ουσιαστικά σταματά μετά από διαδρομή μερικών εκατοστών στον αέρα. Οπότε εφόσον σε ένα χώρο υπάρχουν ραδιενεργά υλικά τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία άλφα, η προστασία του προσωπικού από αυτήν είναι σχετικά εύκολη υπόθεση. Σε αντίθεση, οι ραδιενεργές ουσίες οι οποίες παράγουν ακτινοβολία άλφα μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό κίνδυνο για το προσωπικό καθώς αν

βρίσκονται σε κατάσταση που τους επιτρέπει να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό (μέσω κατάποσης ή προπαντός αναπνοής) μπορούν να προκαλέσουν μεγάλη καταστροφή στα όργανα του σώματος.

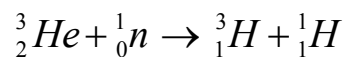
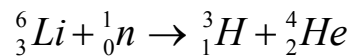
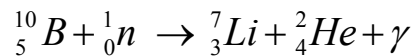
- [ακτίνες β]** Πρόκειται για ακτινοβολία σωματιδιακής φύσεως η οποία επίσης απαντάται στη φυσική ραδιενέργεια. Αποτελείται από ενεργητικά ηλεκτρόνια ή ποσιτρόνια (το αντι-σωματίδιο του ηλεκτρονίου). Το ηλεκτρόνιο εκπέμπεται από τον ατομικό πυρήνα μέσω μιας μετατροπής ενός νετρονίου σε πρωτόνιο. Στην περίπτωση αυτή, ο ατομικός αριθμός του στοιχείου αυξάνει κατά 1 και προκαλείται μεταστοιχείωση του μητρικού πυρήνα σε έναν θυγατρικό ο οποίος μπορεί να είναι ραδιενεργός ή όχι ανάλογα με την περίπτωση. Η εκπομπή ενός σωματιδίου β⁻ συνοδεύεται και από την εκπομπή ενός σωματιδίου που ονομάζεται αντινεutrino. Στην περίπτωση των ποσιτρονίων, η διαδικασία παραγωγής τους ονομάζεται β⁺ αποδιέγερση και προέρχονται από τη μετατροπή ενός πρωτονίου σε νετρόνιο στον ατομικό πυρήνα με την παράλληλη εκπομπή ενός σωματιδίου που ονομάζεται νεutrino. Και στην περίπτωση αυτή, προκαλείται μεταστοιχείωση του μητρικού πυρήνα σε έναν θυγατρικό (καθώς ο ατομικός αριθμός μειώνεται κατά 1) ο οποίος μπορεί να είναι ραδιενεργός ή όχι ανάλογα με την περίπτωση. Προς χάριν πληρότητας αναφέρεται πως υπάρχει ακόμα μια μορφή β αποδιέγερσης κατά την οποία ένα ατομικό ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρά με ένα πυρηνικό πρωτόνιο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νετρονίου στον πυρήνα. Ο ατομικός αριθμός μειώνεται κατά 1 σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει όμως εκπομπή ηλεκτρονίου ή ποσιτρονίου παρά μόνο ενός νεutrino. Τα νεutrino και αντινεutrino είναι σωματίδια τα οποία αλληλεπιδρούν με ιδιαίτερα ασθενή τρόπο με την ύλη και γι αυτό το λόγο δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του προσωπικού. Η ανίχνευση τους άλλωστε βρίσκεται κατά πολύ πέραν των δυνατοτήτων απλών οργάνων ανίχνευσης ακτινοβολίας όπως οι ανιχνευτές GM. Τα ποσιτρόνια αλληλεπιδρούν πολύ γρήγορα με τα σωματίδια της ύλης, καταλήγοντας στις περισσότερες περιπτώσεις σε φωτόνια υψηλής ενέργειας τα οποία εμπίπτουν στην κατηγορία των ακτίνων γ. Τα ηλεκτρόνια β, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διαπερατότητα από τις ακτίνες άλφα καθώς αλληλεπιδρούν λιγότερο έντονα με την ύλη και διαθέτουν μικρότερη μάζα. Οι ακτίνες β μπορούν να σταματήσουν από ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου και η εμβέλειά τους στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι της τάξης των δεκάδων εκατοστών.
- [ακτίνες γ]** Είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσης, παρόμοιες με το ορατό φως αλλά με πολύ υψηλότερη ενέργεια. Παράγονται μέσω της διαδικασίας της πυρηνικής αποδιέγερσης από μια διεγερμένη ενεργειακά κατάσταση στην θεμελιώδη η οποία συνοδεύεται από την εκπομπή φωτονίων γ. Η ακτινοβολία γ, χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλη διεισδυτικότητα καθώς μπορεί να διαπεράσει αρκετά εκατοστά μολύβδου πριν την αισθητή εξασθένηση της έντασής της. Τυπικά, η απορρόφηση των ακτίνων γ ως προς το βάθος ενός υλικού περιγράφεται μέσω της εκθετικής πτώσης της έντασης της αρχικής δέσμης σύμφωνα με τη σχέση:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

Όπου:

- $I(x)$ είναι η ένταση της δέσμης ακτίνων γ μετά από πάχος x
- I_0 είναι η αρχική ένταση της δέσμης ακτίνων γ
- μ είναι μια σταθερά, η σταθερά απορρόφησης, η οποία καθορίζει ποσοτικά το επίπεδο απορρόφησης των ακτίνων γ ανάλογα με το υλικό (και σε μικρότερο βαθμό την ενέργειά τους)

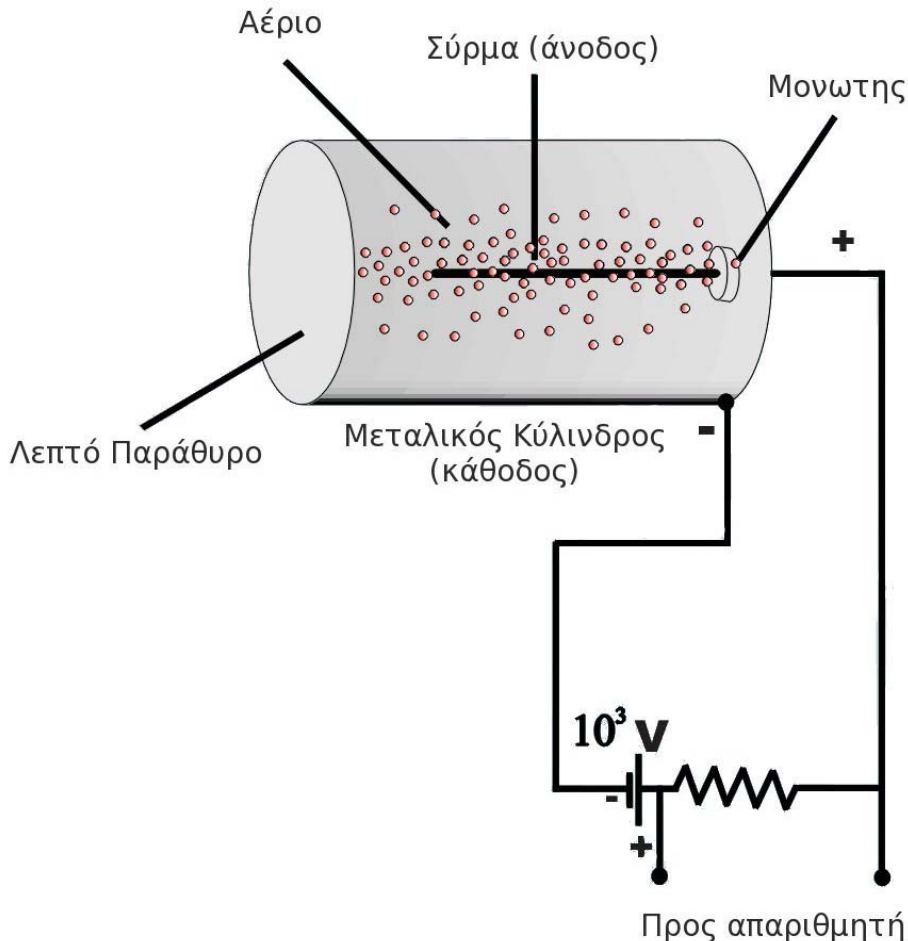
- **[νετρόνια]** Πρόκειται για τα γνωστά σωματίδια με μηδενικό ηλεκτρικό φορτίο τα οποία απαντώνται και ως βασικό συστατικό των πυρήνων των ατόμων της συνήθους ύλης. Νετρόνια εκπέμπονται κατά τη διαδικασία της φυσικής ραδιενέργειας μέσω της σχάσης ενός βαριού μητρικού πυρήνα σε δύο θυγατρικούς με παρόμοιες μάζες. Η εκπομπή νετρονίων είναι όμως πολύ πιο συνηθισμένη κατά τη διαδικασία της τεχνητής ραδιενέργειας, καθώς η παρουσία τους εκεί διαδραματίζει θεμελιακό ρόλο. Καθώς τα νετρόνια δεν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο, χαρακτηρίζονται από μεγάλη διεισδυτικότητα στην ύλη και η ανίχνευση τους, όσον αφορά στην περίπτωση των ανιχνευτών GM, λαμβάνει χώρα με "έμμεσο" τρόπο. Τα νετρόνια μπορούν υπό ορισμένες συνθήκες να "μετατρέψουν" μη ραδιενεργά υλικά σε ραδιενεργά ή να προκαλέσουν μέσω της επίρκειας τους την εκπομπή δευτερεύουσας ακτινοβολίας η οποία μπορεί να ανιχνευθεί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού αποτελεί και ο τρόπος της αρχικής ταυτοποίησης των νετρονίων από τον Chadwick το 1932, μέσω της ανίχνευσης πρωτονίων τα οποία εκπέμποντας από παραφίνη στην οποία προσέπιπτε μια δέσμη νετρονίων. Για την περίπτωση των ανιχνευτών GM, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά αέρια στο εσωτερικό τους ή ειδικές επιστρώσεις στην εσωτερική τους επιφάνεια, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η ανίχνευση νετρονίων με τη χρήση τους. Οι παρακάτω αντιδράσεις των νετρονίων με ορισμένα χημικά στοιχεία επιτρέπουν τη χρήση τους στην ανίχνευση νετρονίων:



Μια τυπική συσκευή ανίχνευσης νετρονίων, αποτελείται από ένα σωλήνα GM ο οποίος είναι γεμάτος με αέριο τριφθοριούχο Βόριο (BF_3), εμπλουτισμένο σε ισότοπο ${}^{10}_5B$ σε μεγαλύτερη αναλογία από το 19.7 % που απαντάται στη φύση. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των νετρονίων και του Βορίου, μορφοποιεί σωματίδια άλφα (και γ) τα οποία ανιχνεύονται άμεσα. Είναι επίσης δυνατή η χρήση ενός εξειδικευμένου σωλήνα GM με επίχρισμα Βορίου, το οποίο θα οδηγήσει και πάλι στην παραγωγή σωματιδίων άλφα και γ κατά την αλληλεπίδρασή του με νετρόνια. Εναλλακτικά, ένας σωλήνας GM μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, γεμάτος με το ευγενές αέριο 3_2He το οποίο σε αλληλεπίδραση με δέσμη νετρονίων παράγει πρωτόνια (τα οποία ανιχνεύονται άμεσα) και το ισότοπο του Υδρογόνου, Τρίτιο. Τέλος, υπάρχει και η μέθοδος της χρήσης διαφόρων μετάλλων όπως το 6_3Li σε μορφή φύλλων μπροστά από τον ανιχνευτή GM ως υλικά τα οποία καθίστανται ραδιενεργά λόγω της επίδρασης των νετρονίων. Τα υποπροϊόντα των αλληλεπιδράσεων αυτών, όπως τα σωματίδια άλφα στην περίπτωση του Λιθίου, ανιχνεύονται και μπορούν να αποτελέσουν ένδειξη για την παρουσία νετρονίων. Λόγω των χαρακτηριστικών της διεισδυτικότητας των νετρονίων αλλά και της ευρύτατης χρήσης τους στη λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και πυρηνικών όπλων, η βασική εξοικείωση του στρατιωτικού προσωπικού με τις ιδιότητες και τους τρόπους ανίχνευσής τους κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική.

Η ανιχνευτική διάταξη Geiger – Müller

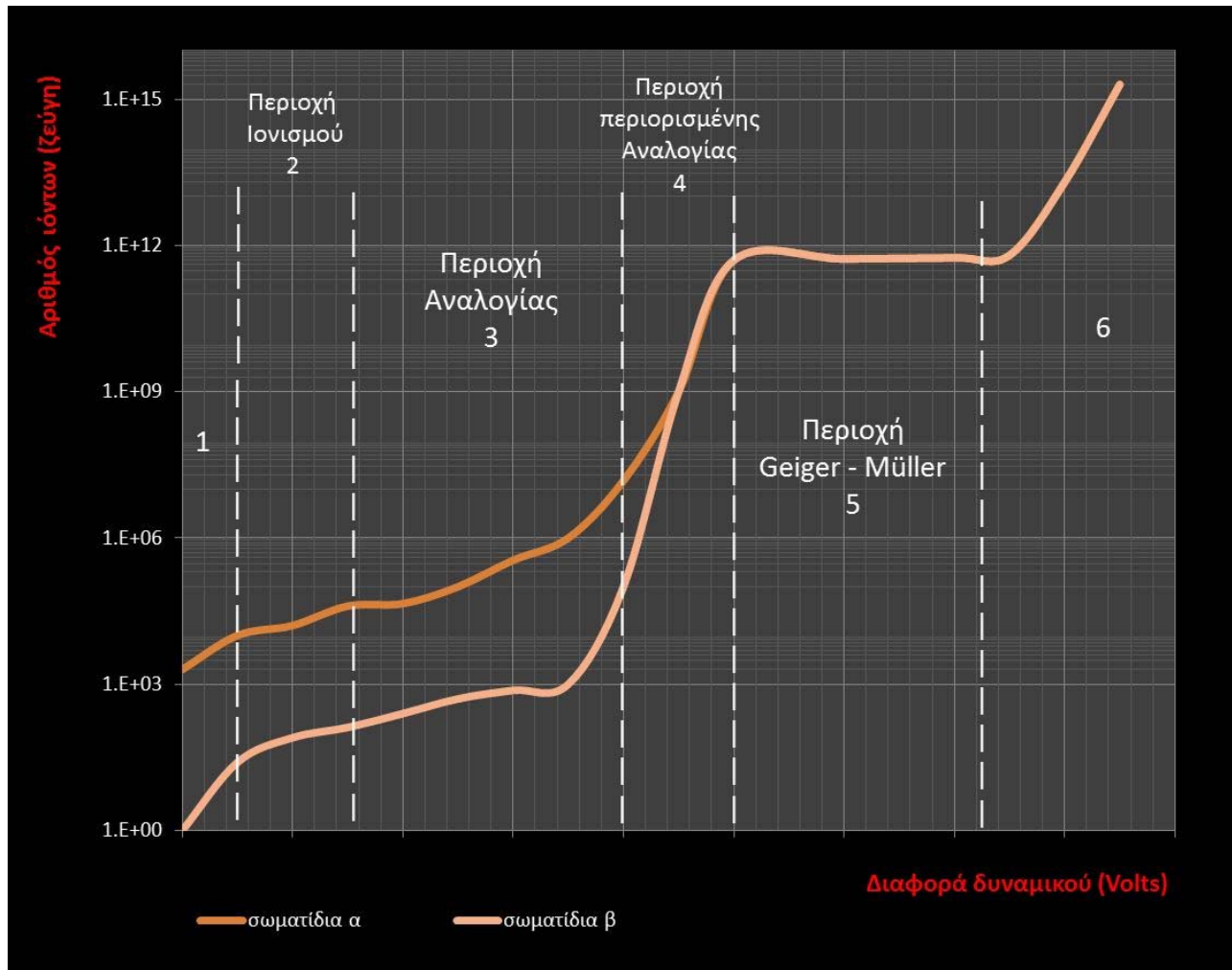
Οι ανιχνευτικές διατάξεις γνωστές ως σωλήνες GM, αποτελούν μια ιδιαίτερα διαδεδομένη υποκατηγορία των ανιχνευτών αερίου. Οι ανιχνευτές αερίου, ονομάζονται έτσι καθώς χρησιμοποιούν ως ανιχνευτικό μέσο αέρια υλικά σε διάφορες τιμές πίεσης σε συνδυασμό με ορισμένες προσμίξεις οι οποίες ανάλογα με τις επιμέρους παραμέτρους του ανιχνευτή, υποβοηθούν τη διαδικασία της ανίχνευσης της ακτινοβολίας. Λόγω της φύσης των ανιχνευτών αερίου, οι δυνατότητες ανίχνευσης που προσφέρουν περιορίζονται στην κατηγορία των λεγόμενων ιονίζουσων ακτινοβολιών. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες, χαρακτηρίζονται από αρκετά υψηλή ενέργεια έτσι ώστε να μπορούν να προκαλέσουν ιονισμό στα άτομα των αερίων που χρησιμοποιούνται στους ανιχνευτές αερίων. Η φυσική διεργασία του ιονισμού του ενεργού υλικού του ανιχνευτή οδηγεί στην ανίχνευση της ακτινοβολίας. Για την περίπτωση των ανιχνευτών GM, το σχετικά μικρό κόστος τους αλλά και οι δυνατότητες ανίχνευσης που προσφέρουν για ένα ευρύ φάσμα ιονίζουσας ακτινοβολίας, τους καθιστά το πλέον διαδεδομένο ανιχνευτικό σύστημα που κυκλοφορεί στην αγορά σήμερα.



Εικόνα 2: Αρχή λειτουργίας ενός ανιχνευτή αερίου για ραδιενέργεια. Η εικόνα αναφέρεται κυρίως σε ανιχνευτές GM αν και οι φυσικές διεργασίες είναι παρόμοιες για όλους τους τύπους ανιχνευτών αερίου.

Η τυπική δομή ενός ανιχνευτή αερίου για ραδιενέργεια αποτελείται από ένα λεπτό κεντρικό ηλεκτρόδιο σε μορφή σύρματος το οποίο βρίσκεται στο κέντρο ενός μεταλλικού κυλίνδρου ο οποίος διαδραματίζει το ρόλο του δεύτερου ηλεκτροδίου της συστοιχίας. Το κεντρικό ηλεκτρόδιο είναι ηλεκτρικά μονωμένο ως προς τον κύλινδρο και μεταξύ τους εφαρμόζεται μια διαφορά δυναμικού της τάξης των μερικών εκατοντάδων Volt.

Η τιμή της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ηλεκτρονίων ενός ανιχνευτή αερίου, καθορίζει και κατά μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του, όσον αφορά στον αριθμό των δευτερευόντων ιόντων τα οποία παράγονται μέσα στο χώρο του ανιχνευτή λόγω της έλευσης πρωτογενούς ιονίζουσας ακτινοβολίας. Όπως μπορεί να διακριθεί και στη σχετική εικόνα (εικόνα 3), για την περιοχή λειτουργίας ενός ανιχνευτή GM, ο πολλαπλασιαστικός αυτός παράγοντας είναι σταθερός και ουσιαστικά ανεξάρτητος από τη φύση και την ενέργεια της πρωτογενούς ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό καθιστά τους ανιχνευτές GM ως ιδιαίτερα κατάλληλους για την ταυτοποίηση της ύπαρξης ακτινοβολίας και καταμετρητές παλμών. Τυπικά, για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης δόσης της ακτινοβολίας (ενός μεγέθους που εξαρτάται από τη φύση και την ενέργειά της), τα ανιχνευτικά συστήματα που βασίζονται στους σωλήνες GM βαθμονομούνται βάσει μιας πρότυπης πηγής ακτινοβολίας. Συνήθως η πηγή αυτή είναι το ραδιοϊσότοπο Καίσιο-137.



Εικόνα 3: Διάγραμμα του συσχετισμού μεταξύ της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια ενός ανιχνευτή αερίου και του πολλαπλασιαστικού παράγοντα δευτερευόντων ιόντων που παράγονται λόγω της διέλευσης της πρωτογενούς ακτινοβολίας από το χώρο του ανιχνευτή.

Μετά και από τα πρόσφατα και σχετικά πρόσφατα ατυχήματα διαρροής ραδιενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, κυκλοφορεί πλέον στη διεθνή αγορά ένας μεγάλος αριθμός ανιχνευτικών συστημάτων τα οποία μπορεί να προμηθευτεί και οποιοσδήποτε ιδιώτης έναντι μικρού αντιτίμου. Ιδιαίτερη εντύπωση έχει προκαλέσει ο αριθμός των σωλήνων GM (οι περισσότεροι στρατιωτικών προδιαγραφών και εφαρμογών) οι οποίοι έχουν διοχετευθεί στη διεθνή αγορά από τις δημοκρατίες του πρώην ανατολικού μπλοκ αλλά και από την ίδια τη Ρωσία. Ένας σωλήνας GM όμως δεν αποτελεί αυτοτελές ανιχνευτικό σύστημα ραδιενέργειας από μόνος του. Απαιτείται και το κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας του καθώς και το ηλεκτρονικό σύστημα ενίσχυσης και καταγραφής του ηλεκτρικού παλμού τον οποίον προκαλεί η έλευση ιονίζουσας ακτινοβολίας μέσα από το σωλήνα.

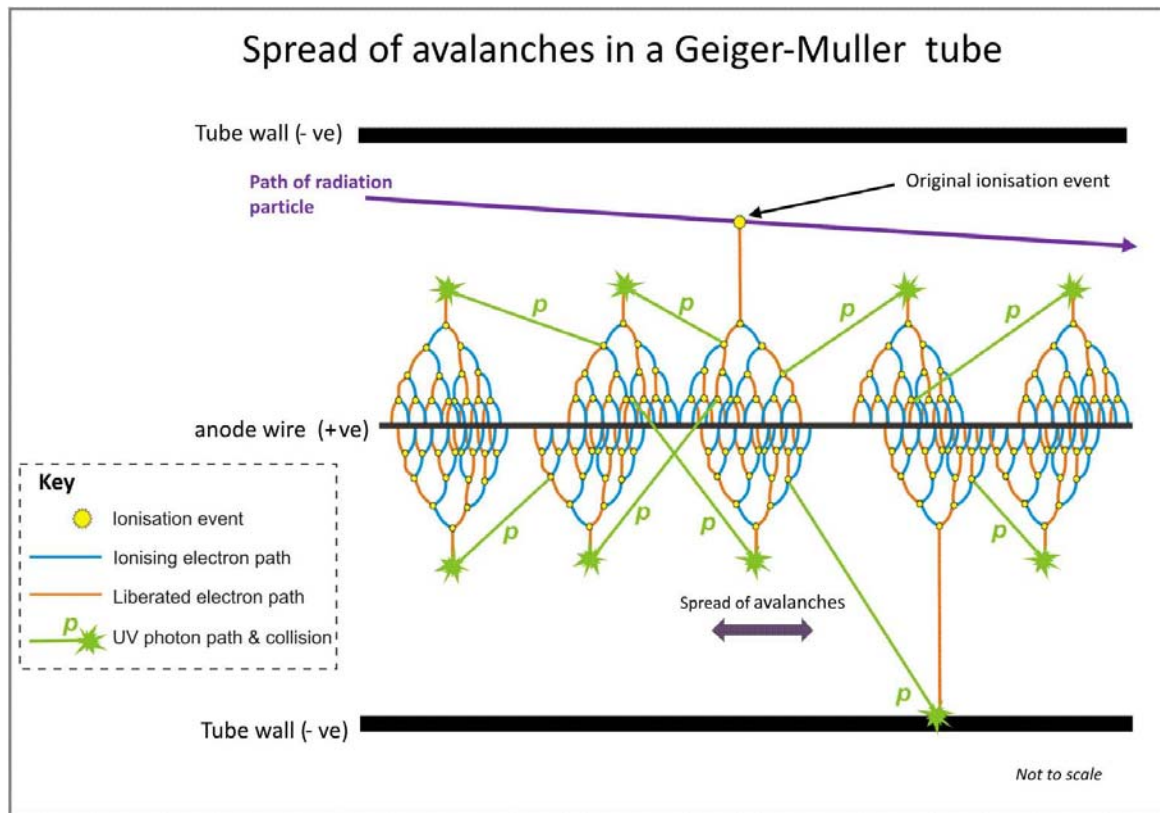


Εικόνα 4: Φωτογραφίες από τυπικούς σωλήνες GM.



Εικόνα 5: Φωτογραφίες από τυπικούς σωλήνες GM.

Ο συνδυασμός όλων αυτών των υποσυστημάτων σε ένα φορητό όργανο με δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας οδηγεί σε σύγχρονα όργανα ανίχνευσης ακτινοβολίας τα οποία επεκτείνουν τις δυνατότητες που προσφέρουν οι σωλήνες GM σημαντικά. Στα ανιχνευτικά συστήματα αυτού του τύπου, καθίσταται δυνατή η ανίχνευση ακτινοβολίας μέσω της καταμέτρησης παλμών με οπτική και ακουστική σήμανση. Επιπρόσθετα είναι δυνατόν να τεθούν από το χειριστή τιμές ακτινοβολίας οι οποίες, αν ανιχνευτούν ενεργοποιούν ηχητικό συναγερμό στη συσκευή. Οι περισσότερες από τις σύγχρονες συσκευές, υποστηρίζουν και τη λειτουργία δοσιμετρίας μέσω της συνεχής μέτρησης της ακτινοβολίας σε ένα χώρο ή της αγωγής της σε ισοδύναμη δόση. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των δυνατοτήτων είναι η ευελιξία του ανιχνευτικού συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να ταυτοποιήσει την ύπαρξη ραδιενέργειας και να προειδοποιήσει σχετικά το προσωπικό, να προσδιορίσει το είδος της (ακτινοβολία α , β , γ ή νετρόνια) και να εκτιμήσει τον κίνδυνο παραμονής στο χώρο της ραδιενέργειας. Ο προσδιορισμός του είδους της ακτινοβολίας, καθίσταται δυνατός στις περισσότερες περιπτώσεις μέσω της χρήσης περισσότερων από ενός οργάνων μέτρησης ή εξωτερικών βοηθητικών υποσυστημάτων. Έχουν κυκλοφορήσει πάντως στην αγορά μετρητές ραδιενέργειας (όπως για παράδειγμα το εικονιζόμενο στην εικόνα 8 σύστημα Gamma Scout) τα οποία επιτρέπουν την ταυτοποίηση και μέτρηση όλων των βασικών ειδών ακτινοβολίας.



Εικόνα 6: Απεικόνιση της διασποράς της "χιονοστιβάδας" δευτερογενών ιόντων μέσα σε ένα σωλήνα GM. Η απαραίτητη ενέργεια για τη μορφοποίησή τους προέρχεται από το ηλεκτρικό πεδίο στο χώρο του σωλήνα. Τα φαινόμενα αυτά είναι γνωστά ως χιονοστιβάδες ιόντων Townsend και αποτελούν την πηγή υπερϊωδών φωτονίων μέσα στο χώρο ανίχνευσης. Τα φωτόνια αυτά μπορούν με τη σειρά τους να απορροφηθούν από τα άτομα του αερίου και να δημιουργήσουν περαιτέρω ηλεκτρόνια μέσω ιονισμού, άρα και περαιτέρω χιονοστιβάδες ιόντων.

Στις εικόνες 7 & 8 παρουσιάζονται δύο μοντέλα από GM ανιχνευτικά συστήματα τα οποία προσφέρονται για αγορά από ιδιώτες ή οργανισμούς διεθνώς. Ανάλογου τύπου συσκευές χρησιμοποιούνται σήμερα εκτενώς από τα σώματα ασφαλείας σε διεθνές επίπεδο. Το κύριο πλεονέκτημα ανιχνευτών ραδιενέργειας αυτού του τύπου είναι ο συνδυασμός μικρού κόστους αγοράς, αξιοπιστίας, ανθεκτικότητας, ακρίβειας μετρήσεων, δυνατότητα γρήγορης ανταπόκρισης σε αλλαγές περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και ευκολία χρήσης. Αντίστοιχα συστήματα χρησιμοποιούνται εκτενώς και από το στρατό διαφόρων χωρών παρόλο που προσφέρονται και εντελώς εξειδικευμένα μοντέλα από ανιχνευτές ικανά να αντεπεξέλθουν σε ιδιαίτερα σκληρές επιχειρησιακές συνθήκες (με ανάλογα αυξημένο αντίτιμο προμήθειας και ενίοτε πολυπλοκότητα).



Εικόνα 7: Ένα από τα πιο ολοκληρωμένα συστήματα ανίχνευσης ραδιενέργειας μέσω της χρήσης ενός σωλήνα GM. Πρόκειται για το μοντέλο 1703 της Ρώσικης εταιρείας Radex η οποία άρχισε σχετικά πρόσφατα (και κυρίως μέσω ebay) να ενεργοποιείται στις αγγλόφωνες αγορές, προσφέροντας τις εκδόσεις των προϊόντων της με υποστήριξη της αγγλικής γλώσσας.

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά ενός σωλήνα GM αλλά και του συστήματος ενίσχυσης και καταμέτρησης του σήματος του τα οποία τυπικά τον συνοδεύουν, είναι η απόδοση και ο νεκρός χρόνος. Η απόδοση του ανιχνευτικού συστήματος, αποτελεί απόρροια της λειτουργίας της όλης διάταξης και ουσιαστικά είναι ο παράγοντας αναλογίας μεταξύ των παλμών που καταγράφονται και των σωματιδίων που κατά τον ίδιο χρόνο διέρχονται μέσα από το σωλήνα GM. Μέσω της χρήσης μιας ραδιενεργής πηγής με γνωστή ενεργότητα και λαμβάνοντας υπόψη τη ραδιενέργεια υποβάθρου στο χώρο της διεξαγωγής της μέτρησης, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η απόδοση ενός ανιχνευτικού συστήματος. Υπενθυμίζεται στον αναγνώστη πως ως ενεργότητα ορίζεται ο ρυθμός των ραδιενεργών διασπάσεων μια πηγής. Ο ορισμός της απόδοσης είναι:

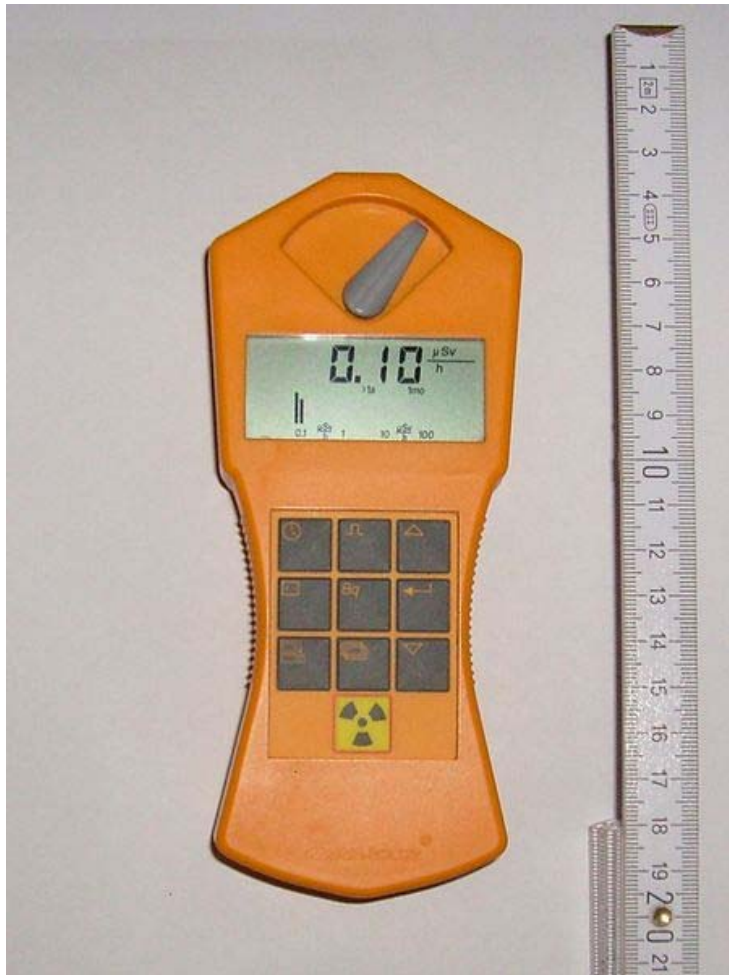
$$A = \frac{N_{reg}}{N_{ins}}$$

όπου N_{reg} είναι ο αριθμός των καταγραφόμενων παλμών και N_{ins} είναι ο αριθμός των σωματιδίων που εισέρχονται στο σωλήνα GM κατά τη διάρκεια της μέτρησης (καταγραφής). Ο κυριότερος λόγος που μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια καταγραφής ενός σωματιδίου από το ανιχνευτικό σύστημα, οφείλεται στο σωλήνα GM και είναι μια παράμετρος λειτουργίας του, γνωστή ως νεκρός χρόνος.

Ο νεκρός χρόνος, οφείλεται στο φαινόμενο κορεσμού το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί στο εσωτερικό του σωλήνα GM, λόγω της έλευσης των χιονοστιβάδων δευτερευόντων ιόντων στο κεντρικό ηλεκτρόδιο του ανιχνευτή. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων μειώνεται και απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα για την επαναφορά της στις τιμές κανονικής λειτουργίας. Κατά το χρονικό διάστημα αυτό, το ανιχνευτικό σύστημα αδυνατεί να καταγράψει νέα σωματίδια και για το λόγο αυτό ονομάζεται νεκρός χρόνος. Τυπικά, οι τιμές του νεκρού χρόνου είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου και επηρεάζουν το μετρούμενο ρυθμό καταγραφής παλμών σε σχέση με τον πραγματικό σύμφωνα με τη σχέση:

$$R_0 = \frac{R}{1 - R \cdot \tau}$$

όπου R_0 είναι ο πραγματικός ρυθμός, R ο καταμετρούμενος ρυθμός και τ ο νεκρός χρόνος του ανιχνευτή.



Εικόνα 8: Ένα από τα ανιχνευτικά συστήματα που βασίζονται σε σωλήνα GM τα οποία προσφέρονται από τη γερμανική εταιρεία Gamma - Scout. Γνωστά στη διεθνή αγορά επί σειρά ετών ως αξιόπιστα και ικανά όργανα μετρήσεων αποτελούν και σήμερα μια από τις καλύτερες επιλογές και για την προμήθεια των σωμάτων ασφαλείας / στρατού.

Καθώς ένα μεγάλο μέρος των οργάνων ανίχνευσης ραδιενέργειας προσφέρει πέρα από την καταμέτρηση παλμών και ρυθμού παλμών και τη δυνατότητα δοσιμετρίας, σε ότι ακολουθεί γίνεται μια βασική εισαγωγή των μονάδων μέτρησης που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό δόσεων απορρόφησης ραδιενέργειας καθώς και των βιολογικών τους ισοδύναμων.

Μονάδες Ραδιενέργειας:

1. Μονάδες Ενεργότητας:

Ως ενεργότητα ενός ραδιενεργού δείγματος, ορίζεται ο ρυθμός των πυρηνικών διασπάσεων ανά

$$\text{μονάδα χρόνου } Act = \frac{dN}{dt}.$$

Το αποτέλεσμα της διάσπασης των ραδιενεργών πυρήνων μπορεί να είναι σωματίδια α, ηλεκτρόνια ή ποσιτρόνια (σωματίδια β- ή β+), ακτινοβολία γ (φωτόνια) ή πυρηνικά θραύσματα σχάσης. Ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα της πυρηνικής διάσπασης, η ενεργότητα αναφέρεται στον μέσο αριθμό αυτών ανά μονάδα χρόνου.

Η SI μονάδα μέτρησης της ενεργότητας είναι το Becquerel (Bq) όπου: ένα Bq ισούται με μια πυρηνική διάσπαση ανά δευτερόλεπτο.

Για ιστορικούς λόγους χρησιμοποιείται και η μονάδα ενεργότητας Curie (Ci) με συσχετισμό:

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

2. Μονάδες Απορρόφησης:

Η επίδραση την οποία μπορεί να ασκήσει η ραδιενέργεια σε ένα υλικό εξαρτάται από την ποσότητα ενέργειας την οποία απορροφά το υλικό αυτό καθώς και από τη μάζα του. Ως απόλυτη δόση ακτινοβολίας που έχει απορροφηθεί σε ένα σημείο υλικού, ορίζεται η συνολική ενέργεια ανά μονάδα όγκου που έχει απορροφήσει το υλικό, προς την πυκνότητα του υλικού στο σημείο αυτό.

Η SI μονάδα μέτρησης της απορρόφησης είναι το Gray (Gy) όπου: ένα Gray ισούται με ένα Joule ενέργειας που έχει απορροφηθεί ανά Kg υλικού. Παλαιότερη μονάδα είναι και το rad, με συσχετισμό: 1 Gy = 100 rad.

3. Μονάδες Απορρόφησης για έμβια όντα:

Έχει προσδιοριστεί εμπειρικά πως η επίδραση της ραδιενέργειας σε ζωντανό ιστό, δεν εξαρτάται μόνο από τη συνολική δόση που έχει απορροφήσει ο ιστός αλλά και από διάφορους άλλους παράγοντες ο σημαντικότερος από τους οποίους είναι ο τύπος της ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, δεδομένος αριθμός Gray σωματιδίων α, προκαλούν μεγαλύτερη βιολογική βλάβη από ότι ο ίδιος αριθμός Gray ακτινοβολίας γ. Από την Ιατρική έχουν προσδιοριστεί εμπειρικά οι παράγοντες σχετικής βιολογικής δράσης RBE (Relative Biological Effectiveness factors) για τους διαφορετικούς τύπους ραδιενέργειας.

Οι παράγοντες RBE εξαρτώνται από τον τύπο και την ενέργεια των σωματιδίων αλλά για τις περισσότερες περιπτώσεις ο παρακάτω πίνακας αποτελεί ικανοποιητική προσέγγιση:

RBE παράγοντας	Ακτινοβολία
1	Ακτίνες X, ακτίνες γ, σωματίδια β
10	Νετρόνια, πρωτόνια
20	Σωματίδια α

Λαμβάνοντας υπόψη τον κατάλληλο παράγοντα RBE και την απόλυτη δόση ακτινοβολίας που έχει απορροφηθεί από ζωντανό ιστό, μπορεί να οριστεί η ισοδύναμη δόση που έχει απορροφηθεί. Η SI μονάδα μέτρησης της ισοδύναμης δόσης είναι το Sievert (Sv) όπου: ένα Sievert ισούται με την απόλυτη δόση σε Gray επί τον παράγοντα RBE Η ισοδύναμη δόση σε Sievert αποτελεί μια καλή ένδειξη για τη βιολογική βλάβη την οποία προκαλεί δεδομένη δόση ακτινοβολίας. Τυπικές ισοδύναμες δόσεις είναι της τάξης μεγέθους των mSv. Παλαιότερη μονάδα μέτρησης της ισοδύναμης δόσης είναι και το rem, με συσχετισμό: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Βιβλιογραφία:

- [1] Θ. Λιόλιος: Όπλα εκφυλισμένου Ουρανίου και ατυχήματα Πυρηνικών Όπλων, εκδόσεις Παχούδη - Γιαπούλη, 2002
- [2] N. Tsoufanidis: Measurement and Detection of Radiation, Taylor & Francis, 2005
- [3] Κ. Παπαστεφάνου: Φυσική ακτινοβολιών και εφαρμογές Ραδιοϊσοτόπων, εκδόσεις Ζήτη, 2001
- [4] Μ. Αντωνόπουλος – Ντόμης: Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία, εκδόσεις Ζήτη, 2005

Σχετικά με την «Αθηνά»

Το Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων «Αθηνά» αποτελεί ένα ανεξάρτητο, μη κερδοσκοπικό Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου (Αστική μη Κερδοσκοπική Εταιρία), λειτουργεί ως κοινωφελές κέντρο επιστημονικών ερευνών σε θέματα ελέγχου Όπλων και Ακτινοβολίας, επιδιώκει κοινωφελείς επιστημονικούς και πολιτιστικούς σκοπούς και απονέμει υποτροφίες. Οι σκοποί του Ελληνικού Κέντρου Ελέγχου Όπλων (σύμφωνα με το καταστατικό ίδρυσης και λειτουργίας του που δημοσιεύθηκε στο Πρωτοδικείο Θεσσαλονίκης) είναι αυτοί που προβλέπονται από το θεσμικό πλαίσιο έρευνας και τεχνολογίας (Ν.3653/2008) περί ερευνητικών και τεχνολογικών φορέων (άρθρο 2 παρ.ιβ και παρ. ιγ.). Όλα τα έσοδα από τους διάφορους πόρους του διατίθενται για τις επιστημονικές-ερευνητικές του δραστηριότητες. Στα πλαίσια της κοινωφελούς της ερευνητικής της δραστηριότητας η «Αθηνά» διεξάγει μελέτες και μετρήσεις είτε αυτεπάγγελτα είτε μετά από πρόσκληση των συνδρομητών, δωρητών και ευεργετών του καθώς και μετά από πρόσκληση κάθε ιδιωτικού ή δημοσίου φορέα που μπορεί να καλύψει τα έξοδα της σχετικής επιστημονικής έρευνας. Η Διεύθυνση Ερευνών της «Αθηνάς» καταθέτει στον ενδιαφερόμενο φορέα επιστημονική έκθεση σχετικά με τα αποτελέσματα της επιστημονικής έρευνας που διεξήγαγε.

Το Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων «Αθηνά» ως έγκυρος και ανεξάρτητος επιστημονικός φορέας σε θέματα οπλικής, στρατιωτικής και αντιτρομοκρατικής επιστήμης απευθύνεται:

Σε κάθε Έλληνα που θεωρεί ότι η Ελλάδα πρέπει να αναπτύξει μια πανίσχυρη οπλική, αμυντική και αντιτρομοκρατική επιστήμη και τεχνολογία.

Σε κάθε Έλληνα που θέλει να μάθει με μαθηματική ακρίβεια τις επιπτώσεις και τον έλεγχο των πάσης φύσεως οπλικών, πολεμικών και τρομοκρατικών δραστηριοτήτων στην Ελλάδα και το Εξωτερικό

Στα στελέχη των Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης που αναζητούν μια έγκυρη πηγή πληροφόρησης και ειδήσεων

Στα στελέχη των Ενόπλων Δυνάμεων και των Σωμάτων Ασφαλείας καθώς και τους αποστράτους αυτών.

Στις Υγειονομικές Υπηρεσίες και τις Υπηρεσίες Πολιτικής Προστασίας

Σε κάθε Δικαστική και Εισαγγελική Αρχή που αναζητεί έγκυρη και τεκμηριωμένη πραγματογνωμοσύνη

Στους Δικηγόρους που αναζητούν επιστημονικά στοιχεία και μια πλήρη βάση νομικών δεδομένων προκειμένου να τεκμηριώσουν την υπεράσπιση των πελατών τους

Στους Πολιτικούς που θα κληθούν να πάρουν αποφάσεις και να νομοθετήσουν σε θέματα Εθνικής και Διεθνούς Ασφάλειας

Οι επιστημονικές εκθέσεις και μελέτες του Ελληνικού Κέντρου Ελέγχου Όπλων:

Αποτελούν επιστημονικές μελέτες τις οποίες η Διεύθυνση Ερευνών της «Αθηνάς» θα υποστηρίξει ενώπιον κάθε δημοσίου ή ιδιωτικού φορέα καθώς και κάθε ανακριτικής, εισαγγελικής και δικαστικής αρχής.

Δεν αντικαθιστούν πιστοποιητικά και βεβαιώσεις που σύμφωνα με τη νομοθεσία παρέχουν αποκλειστικά οι κρατικοί φορείς.

Δεν αποτελούν ιατρικές βεβαιώσεις, διαγνώσεις ή συμβουλές. Στην περίπτωση που ο χρήστης των εκθέσεων αυτών θέλει να τις χρησιμοποιήσει για ιατρικούς σκοπούς η «Αθηνά» συνεργάζεται με εξειδικευμένους ιατρούς (ακτινολόγους, ογκολόγους κλπ) οι οποίοι είναι στη διάθεση των ενδιαφερομένων.

Αποποίηση Ευθυνών:

Οι απόψεις των ερευνητών και συνεργατών του ερευνητικού ιδρύματος «Αθηνά» δεν συμπίπτουν απαραίτητα με τις απόψεις της Διεύθυνσης του ιδρύματος.

Οι απόψεις του ιδρύματος δεν συμπίπτουν απαραίτητα με τις απόψεις του ΥΠΕΘΑ, των υπηρεσιών και των στρατιωτικών ή πολιτικών στελεχών του.

Ισχύουν όλα τα αναλυτικά στοιχεία περί αποποίησης ευθυνών που αναφέρονται στην ιστοσελίδα του ιδρύματος τα οποία καλούνται οι αναγνώστες να μελετήσουν.