

Δοσιμετρία ακτινοβολίας

Σητεία, 29/11/2022

0. Η Απορροφηθείσα Δόση (Α.Δ) ακτινοβολίας είναι ένα φυσικό μέγεθος το οποίο ορίζεται ως το πηλίκο,

$$\text{Απορροφηθείσα δόση} = \frac{\text{Ενέργεια απορροφηθείσας ακτινοβολίας}}{\text{Μάζα του οργανισμού}}$$

αρκεί η ακτινοβολία να μην είναι εντοπισμένη σε κάποια περιοχή του οργανισμού. Στην περίπτωση που αυτή είναι εντοπισμένη σε κάποια περιοχή του σώματος, τότε θα πρέπει να διαιρέσουμε με την μάζα της περιοχής αυτής (για παράδειγμα παλάμη του χεριού μας).

Η ενέργεια της απορροφηθείσας ακτινοβολίας γενικά δεν είναι ίση με την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, αφού στην πράξη ένα κλάσμα αυτής απορροφάται από τον οργανισμό.

Μονάδα απορροφηθείσας δόσης στο S.I είναι το J/kg το οποίο συμβολίζεται με Gy και ονομάζεται grey,

$$1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$$

Όμως μία μονάδα που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι το rad (radiation absorbed dose) και ορίζεται ως,

$$1\text{rad} = 0,01\text{Gy}$$

ή ισοδύναμα,

$$1\text{Gy} = 100\text{rad}$$

Η διαφοροποίηση των επιπτώσεων που οφείλεται στο είδος της απορροφηθείσας ακτινοβολίας περιγράφεται από έναν αριθμητικό συντελεστή που ονομάζεται σχετική βιολογική δραστηριότητα και συμβολίζεται με RBE (Relative Biological Effectiveness),

Ακτινοβολία	RBE
Ακτίνες γ ή X ενέργειας 200keV	1
Ηλεκτρόνια	1,0-1,5
Βραδέα νετρόνια	3-5
Πρωτόνια	10
Σωματίδια α	20
Βαρέα ιόντα	20

Στην ποσότητα Ισοδύναμη Δόση ακτινοβολίας λαμβάνουμε υπόψη αυτό τον συντελεστή και την ορίζουμε ως εξής:

$$I.\Delta = RBE \cdot A.\Delta$$

Μονάδα Ισοδύναμης Δόσης στο S.I είναι το Sievert (Sv):

$$1Sv = 1RBE \cdot 1Gy$$

ενώ πιο συχνά χρησιμοποιείται το rem:

$$1rem = 1RBE \cdot 1rad$$

1. Σε ένα πυρηνικό ατύχημα ένας άνθρωπος με μάζα $m = 85\text{kg}$ απορρόφησε ομοιόμορφα από όλο το σώμα του ακτινοβολία α ολικής ενέργειας $E = 1,7\text{J}$.

A. Πόση είναι η απορροφηθείσα δόση ακτινοβολίας;

B. Πόση είναι η ισοδύναμη δόση; Είναι θανατηφόρα;

Απάντηση.

A. Η απορροφηθείσα δόση (A.Δ) είναι,

$$A.\Delta = \frac{E}{m}$$

B. Η ισοδύναμη δόση (I.Δ) θα είναι,

$$\begin{aligned} I.\Delta &= RBE \cdot A.\Delta \\ &= 20 \cdot 2 \\ &= 40\text{rem} \end{aligned}$$

και δεν είναι θανατηφόρα. Για να είναι μία δόση θανατηφόρα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 1000rem.

2. Σε ένα πυρηνικό ατύχημα ένας άνθρωπος μάζας $m = 90,0\text{kg}$ απορροφά ομοιόμορφα σε όλο το σώμα του ακτινοβολία ολικής ενέργειας $E = 2,3\text{J}$, από την οποία το 20% ήταν ακτινοβολία γ , το 50% ήταν α και το υπόλοιπο 30% ήταν ακτινοβολία β^- .

A. Να υπολογιστεί η απορροφηθείσα δόση σε rad.

B. Να υπολογιστεί η ισοδύναμη δόση σε rem.

Απάντηση.

A. Η απορροφηθείσα δόση θα είναι,

$$\begin{aligned} A.\Delta &= \frac{E}{m} \\ &= \frac{2,3}{90} \\ &= 0,02555\text{Gy} \\ &= 2,6\text{rad} \end{aligned}$$

B. Η ισοδύναμη δόση θα είναι

$$\begin{aligned}
I.\Delta &= RBE(\gamma) \cdot A.\Delta(\gamma) + RBE(\beta^-) \cdot A.\Delta(\beta^-) + RBE(\alpha) \cdot A.\Delta(\alpha) \\
&= 1 \cdot 2,6 \cdot 20\% + (1 \text{ έως } 1,5) \cdot 2,6 \cdot 30\% + 20 \cdot 2,6 \cdot 50\% \\
&= 27 \text{ έως } 28\text{rem}
\end{aligned}$$

3. Στην άσκηση 2 του μαθήματος 7 είχαμε υπολογίσει την ενεργότητα του ραδιενεργού ισότοπου ${}^3\text{H}$ του υδρογόνου που βρίσκεται στα μόρια του νερού του σώματος ενός ανθρώπου μάζας $m = 70\text{kg}$ και την είχαμε βρει $R = 6\text{Bq}$.

Το ${}^3\text{H}$ υφίσταται διάσπαση β^- και όπως έχει μετρηθεί, τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν έχουν μέση κινητική ενέργεια $\bar{E}_k = 5,7\text{keV}$. Δεδομένου του ότι η ακτινοβολία β^- έχει 100% απορρόφηση από το σώμα, ζητείται να υπολογίσουμε:

A. Την απορροφηθείσα δόση ακτινοβολίας β^- που οφείλεται στις διασπάσεις του ${}^3\text{H}$ στην διάρκεια μίας ημέρας.

B. Την αντίστοιχη ισοδύναμη δόση.

Απάντηση.

A. Επειδή το νερό στο σώμα μας αναπληρώνεται συνεχώς και “νέα” μόρια αντικαθιστούν τα “παλιά”, η ενεργότητα θεωρείται σταθερή. Έτσι η ολική ενέργεια που απορροφάται από το σώμα του ανθρώπου σε μία ημέρα θα είναι

$$\begin{aligned}
E &= R \cdot t \cdot \bar{E}_k \\
&= 6 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 5,7 \\
&= 2954880\text{keV} \\
&= 2,95488 \cdot 10^9\text{eV} \\
&= 2,95488 \cdot 10^9 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J} \\
&= 4,73371776 \cdot 10^{-10} \\
&= 4,7 \cdot 10^{-10}\text{J}
\end{aligned}$$

και συνεπώς η απορροφηθείσα δόση θα είναι

$$\begin{aligned}
A.\Delta &= \frac{E}{m} \\
&= \frac{4,73371776 \cdot 10^{-10}}{70} \\
&= 0,067624539 \cdot 10^{-10}\text{Gy} \\
&= 6,7624539 \cdot 10^{-10}\text{Bq} \\
&= 7 \cdot 10^{-10}\text{Bq}
\end{aligned}$$

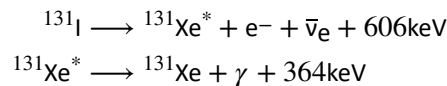
Αν αναρωτιέστε για την στρογγυλοποίηση δείτε ότι η ενεργότητα δίνεται με ένα σημαντικό ψηφίο.

B. Η ισοδύναμη δόση θα είναι

$$\begin{aligned}
I.\Delta &= RBE \cdot A.\Delta \\
&= (1 \text{ έως } 1,5) \cdot 6,7624539 \cdot 10^{-10} \\
&= (6,7624539 \text{ έως } 10,1436809) \cdot 10^{-10} \\
&= (7 \text{ έως } 10) \cdot 10^{-10} \text{rem}
\end{aligned}$$

που είναι πολύ μικρή, αμελητέα.

4. Για θεραπευτικούς σκοπούς εισάγεται στον θυρεοειδή αδένα ενός ανθρώπου μάζας $m = 80\text{kg}$ ποσότητα του ραδιενεργού ισοτόπου ^{131}I ενεργότητας $R_0 = 100\mu\text{Ci}$. Η διάσπαση του ^{131}I πραγματοποιείται σε δύο στάδια σύμφωνα με τις εξισώσεις:



Το ηλεκτρόνιο e^- που εκπέμπεται έχει μέση κινητική ενέργεια $\bar{E}_{e^-} = 190\text{keV}$ και το φωτόνιο γ είναι ενέργειας $E_\gamma = 364\text{keV}$. Δεδομένου του ότι για την ακτινοβολία β έχουμε 100% απορρόφηση από το σώμα ενώ για την γ 50% και η απορρόφηση αυτή είναι ομοιόμορφη, να υπολογιστούν:

A. Η απορροφηθείσα δόση ακτινοβολίας μέχρι να διασπαστούν όλοι οι πυρήνες του ^{131}I .

B. Η αντίστοιχη ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας.

Δίνεται ότι ο χρόνος ημιζωής του ^{131}I είναι 8,02d, $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{Bq}$ και $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$.

Απάντηση. Αρχικά υπολογίζουμε το πλήθος των πυρήνων που χορηγήθηκαν από τον τύπο,

$$N_0 = \frac{R_0}{\lambda}$$

αφού πρώτα υπολογίσουμε την σταθερά διάσπασης λ σε μονάδες s^{-1} και αφού μετατρέψουμε την ενεργότητα σε Bq:

$$\begin{aligned}
\lambda &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \\
&= \frac{\ln 2}{8,02 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \\
&= \frac{\ln 2}{692928} s^{-1} \\
R_0 &= 100 \cdot 10^{-6} \text{Ci} \\
&= 10^{-4} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \\
&= 3,7 \cdot 10^6 \text{Bq}
\end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας βρίσκουμε το πλήθος των ραδιενεργών πυρήνων ^{131}I που χορηγήθηκαν:

$$\begin{aligned}
N_0 &= \frac{R_0}{\lambda} \\
&= \frac{3,7 \cdot 10^6}{\frac{\ln 2}{692928}} \\
&= \frac{3,7 \cdot 10^6 \cdot 692628}{\ln 2} \\
&= 3697228 \cdot 10^6 \\
&= 3,697228 \cdot 10^{12}
\end{aligned}$$

Από την διάσπαση τους θα παραχθούν ισάριθμα ηλεκτρόνια τα οποία θα απορροφηθούν όλα από τον οργανισμό και ισάριθμα φωτόνια γ από τα οποία θα απορροφηθούν τα μισά. Συνεπώς η απορροφηθείσα ενέργεια από την ακτινοβολία θα είναι,

$$\begin{aligned}
E &= N_0 \cdot \bar{E}_{e^-} + \frac{1}{2} \cdot N_0 \cdot E_\gamma \\
&= N_0 \left(\bar{E}_{e^-} + \frac{1}{2} E_\gamma \right) \\
&= 3,697228 \cdot 10^{12} (190 + 182) \\
&= 3,697228 \cdot 10^{12} \cdot 372 \\
&= 1375,37 \cdot 10^{12} \\
&= 1,37537 \cdot 10^{15} \text{keV} \\
&= 1,37537 \cdot 10^{18} \text{eV} \\
&= 1,37537 \cdot 10^{18} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \\
&= 2,20334 \cdot 10^{-1} \text{J}
\end{aligned}$$

Συνεπώς η απορροφηθείσα δόση θα είναι,

$$\begin{aligned}
A.\Delta &= \frac{E}{m} \\
&= \frac{2,20334 \cdot 10^{-1}}{80} \\
&= 2,75417 \cdot 10^{-3} \text{Gy} \\
&= 0,3 \text{rad}
\end{aligned}$$

Στο χρονικό διάστημα των πρώτων 8,02 ημερών η απορροφηθείσα δόση θα είναι 0,15rad.

B. Η ισοδύναμη δόση θα είναι

$$I.\Delta = RBE(\gamma) \cdot A.\Delta(\gamma) + RBE(\beta) \cdot A.\Delta(\beta)$$

και η απορροφηθείσα δόση που οφείλεται στην ακτινοβολία β και γ αντιστοίχως θα είναι,

$$\begin{aligned}
A.\Delta(\beta) &= 0,3 \cdot \frac{190}{182 + 190} \\
&= 0,153 \text{rad}
\end{aligned}$$

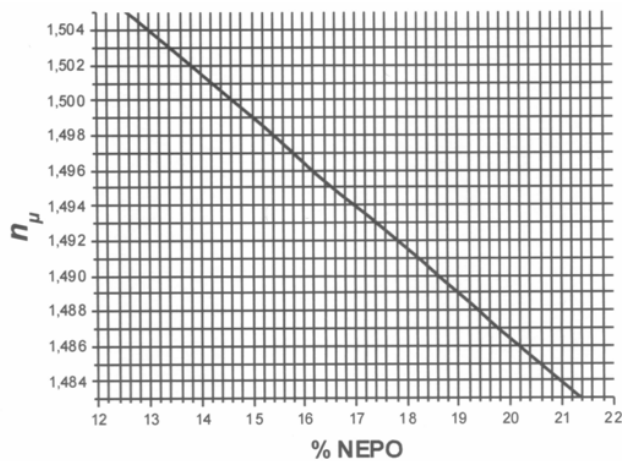
$$\begin{aligned} A.\Delta(\gamma) &= 0,3 \cdot \frac{182}{182 + 190} \\ &= 0,147\text{rem} \end{aligned}$$

και τελικά παίρνουμε ότι,

$$\begin{aligned} I.\Delta &= 1 \cdot 0,153 + (1 \text{ έως } 1,5) \cdot 0,147 \\ &= (3 \text{ έως } 4)\text{rem} \end{aligned}$$

Αυτή η δόση είναι σχετικά αρκετά κάτω από το όριο των 25rem πέρα από το οποίο έχουμε άμεσα συμπτώματα από την ακτινοβολία.

5. Σε ένα δείγμα μελιού με άγνωστη ποσότητα νερού πέφτει φωτεινή δέσμη μήκους κύματος $\lambda_0 = 689,0\text{nm}$, υπό γωνία $67,00^\circ$. Στη συνέχεια διαθλάται υπό γωνία $38,00^\circ$. Να υπολογιστεί το ποσοστό του νερού που υπάρχει στο συγκεκριμένο δείγμα μελιού με τη βοήθεια και του παρακάτω διαγράμματος.



Στην συνέχεια υπολογίστε το μήκος κύματος λ του φωτός μέσα στο δείγμα.

Απάντηση. Βρείτε τον δείκτη διάθλασης του δείγματος και στην συνέχεια από την γραφική παράσταση εκτιμήσετε το ποσοστό του νερού στο μέλι. Για το μήκος κύματος χρησιμοποιείστε την σχέση,

$$n_\mu = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$