

Πυρηνική Φυσική

Η Φυσική των πρωτονίων, νετρονίων και των πυρηνικών δυνάμεων.

Ατομικός πυρήνας

Τάξεις μεγέθους χώρου και ενέργειας

Πυρηνική ακτινοβολία α , β , γ

Επίδραση στους οργανισμούς

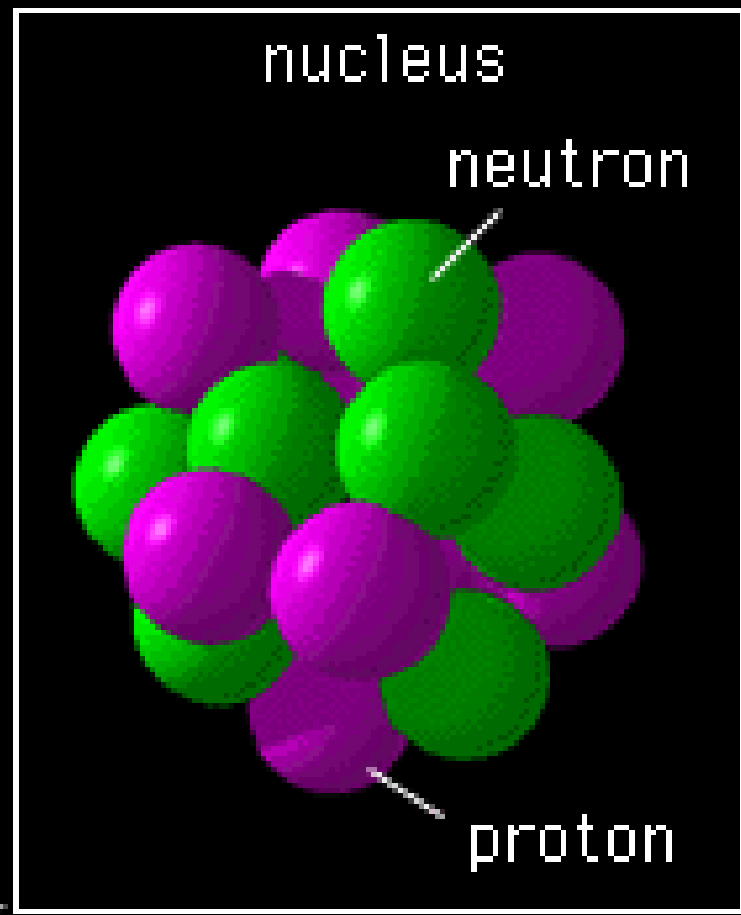
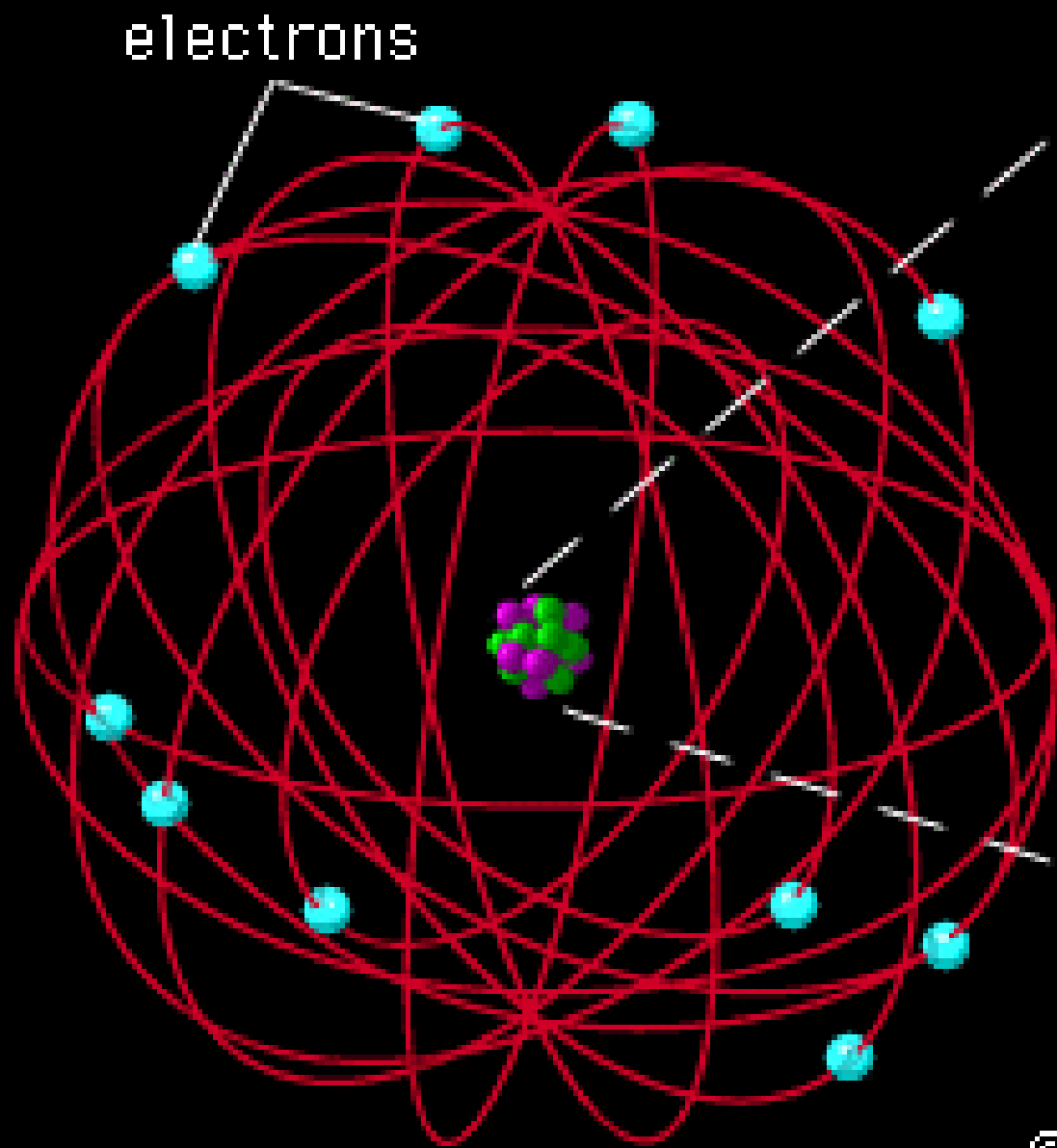
Δοσιμετρία

Προστασία

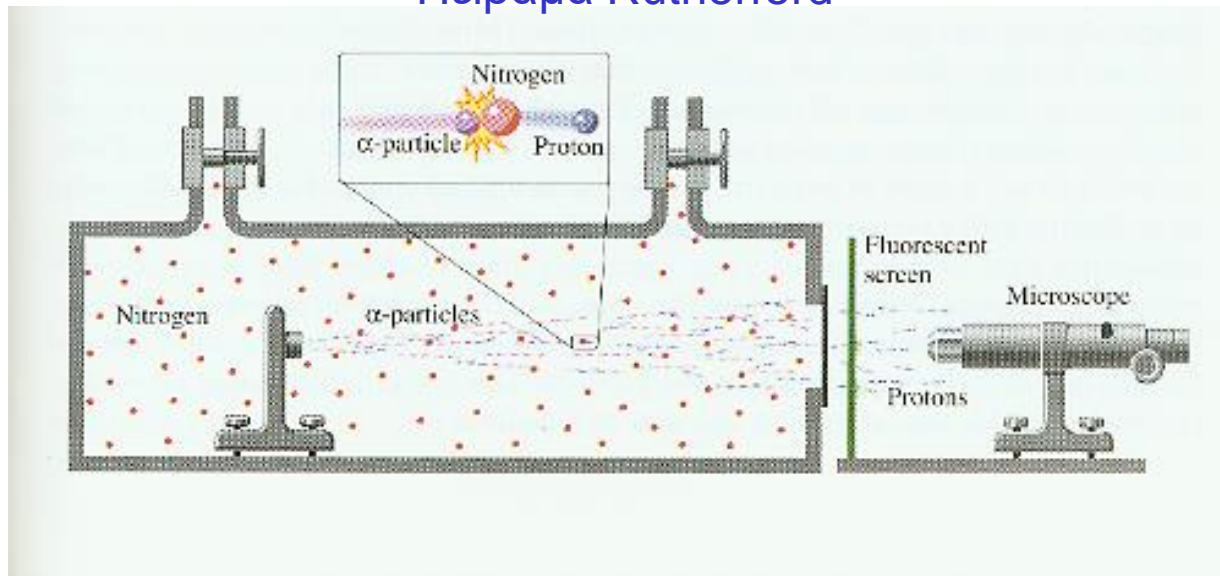
Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΙΚΟΥ ΠΥΡΗΝΑ

- Ο όρος «πυρήνας» (nucleus) εισάγεται το 1912 από τον Rutherford.
- Κάθε άτομο αποτελείται από μια περιορισμένη περιοχή όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος της μάζας και το θετικό του φορτίο, **τον πυρήνα**, ο οποίος περιβάλλεται από μια κατανομή ηλεκτρονίων.
- Προσεγγιστικός υπολογισμός μεγέθους ατόμων από 1880:
 - Διάμετρος ατόμου $\sim 10^{-10}\text{m} = 1\text{\AA} = 0,1\text{ nm}$
- Υπολογισμός Rutherford για την ακτίνα του πυρήνα:
 - $R = 4,9 \times 10^{-14}\text{m} \sim 50\text{ fm}$ ($1\text{fm} = 10^{-15}\text{ m}$)

Ο πυρήνας είναι περίπου 10.000 φορές μικρότερος από το άτομο



Πείραμα Rutherford



- 1920, Rutherford προτείνει το όνομα **ΠΡΩΤΟΝΙΟ** (proton) από την ελληνική λέξη **πρώτος**

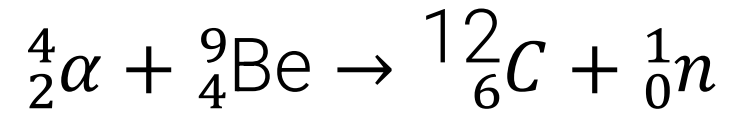
-Μάζα πρωτονίου: **1836** φορές του ηλεκτρονίου.

-Φορτίο πρωτονίου θετικό, ακριβώς όσο και ηλεκτρονίου

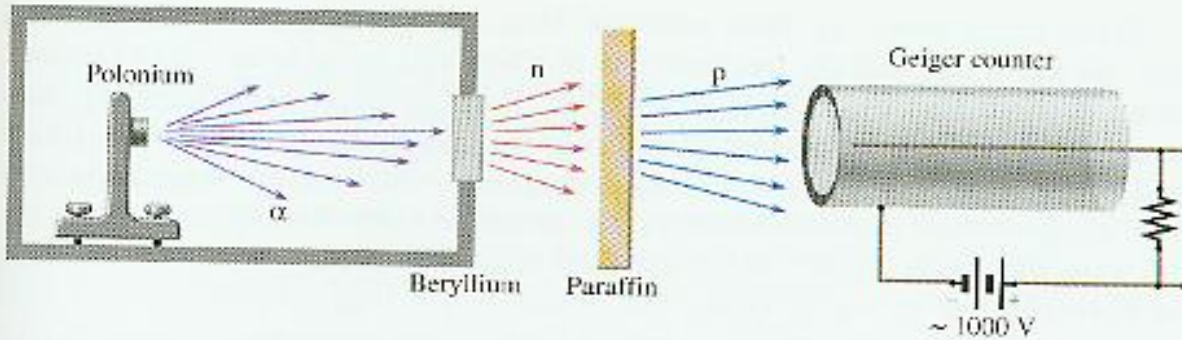
Φορτίο για άτομο υδρογόνου ουδέτερο με ακρίβεια 22 δεκαδ. ψηφίων.

- Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του αντίστοιχου ουδέτερου ατόμου και ονομάζεται **ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ, Z**.
- Η μάζα που προκύπτει από τον ατομικό αριθμό ενός στοιχείου παρουσιάζει έλλειμμα συγκριτικά με τις προσδιορισμένες στον περιοδικό πίνακα **ατομικές μάζες (A)**
- Π.χ. Ουράνιο: $Z = 92$ και μάζα 238.

Πείραμα Chadwick, 1930



- Μάζα επάνω δείκτης, φορτίο κάτω δείκτης



- Ύπαρξη ενός ουδετέρου σωματιδίου με μάζα περίπου αυτή του πρωτονίου. Δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια στον πυρήνα, το νετρόνιο είναι ένα απλό σωματίδιο όπως το πρωτόνιο με μάζα **1839** φορές την μάζα του ηλεκτρονίου.

W. Heisenberg: Όλοι οι πυρήνες αποτελούνται αποκλειστικά από νετρόνια (N) και πρωτόνια (Z) ο συνολικός αριθμός των οποίων ορίζει την ατομική μάζα ή **μαζικό αριθμό (A)**:

$$\bullet A = Z + N$$

• Τα στοιχεία συμβολίζονται ως: A_ZX

• Π.χ το ουράνιο ${}^{238}_{92}U$

• έχει 92 πρωτόνια και 146 νετρόνια,

• δηλ. μαζικό αριθμό $A = 92 + 146 = 238$

• Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ως αποκλειστικά στοιχεία του πυρήνα (nucleus) αποδίδονται με το κοινό όνομα **ΝΟΥΚΛΕΟΝΙΑ**

- Τα νετρόνια είναι εξαιρετικά ασταθή όταν απομακρύνονται από τον πυρήνα. Διασπώνται δίνοντας ένα ηλεκτρόνιο, ένα πρωτόνιο και ένα νεutrίνο. Αυτό εξηγεί την φαινομενική εκπομπή ηλεκτρονίων από τον πυρήνα.

? Γιατί τα νετρόνια παραμένουν ευσταθή στον πυρήνα;

? Γιατί τα πρωτόνια στον πυρήνα δεν απωθούνται ακολουθώντας τις αλληλεπιδράσεις Coulomb;

? Γιατί τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα δεν καταρρέουν πάνω σε αυτόν;

• ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

- Απωστική δύναμη Coulomb ($1/r^2$) μεταξύ πρωτονίου – πρωτονίου = 50 N
- **ΤΕΡΑΣΤΙΑ** για τις μικρές μάζες των πρωτονίων (Δεν θα μπορούσε να σχηματιστεί κανένας άλλος πυρήνας πέραν του Υδρογόνου, λόγω της άπωσης μεταξύ πρωτονίων ...)
- **Όμως**
- Μέσα στον πυρήνα υπάρχουν κι άλλες δυνάμεις που συγκρατούν τα νουκλεόνια. Δυνάμεις μικρής εμβέλειας ($\sim 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$, μηδενίζονται για αποστάσεις $> 4 \text{ fm}$) και **ΙΣΧΥΡΑ ΕΛΚΤΙΚΕΣ**
- **Γίνονται απωστικές σε αποστάσεις μεταξύ νουκλεονίων $< 0,5 \text{ fm}$** (γιατί δύο νουκλεόνια δεν μπορούν να καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο) και εξαρτώνται από το spin των αλληλεπιδρώντων σωματιδίων.

- Οι πυρηνικές δυνάμεις είναι εκδήλωση των θεμελιωδών **ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων**. Η πιο ισχυρή από όλες τις γνωστές αλληλεπιδράσεις (πρωτόνιο-πρωτόνιο στα 2 fm) είναι περίπου 100 φορές ισχυρότερη από την αντίστοιχη ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση και 10^{34} φορές ισχυρότερη της βαρυτικής αλληλεπίδρασης.
- Ενώ η ενέργεια ιονισμού του ατόμου του υδρογόνου (απομάκρυνση ηλεκτρονίου) είναι 13,6 eV, απαιτείται ενέργεια 8MeV για την απομάκρυνση ενός νουκλεονίου από τον πυρήνα. Γι' αυτό οι πυρηνικές αντιδράσεις απελευθερώνουν εκατομμύρια φορές περισσότερη ενέργεια από τις χημικές αντιδράσεις.

• Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ

- Μπορούμε να παραστήσουμε τον πυρήνα σαν μια σφαιρική σταγόνα, ο όγκος της οποίας θα αυξάνει ανάλογα με τη μάζα έτσι ώστε η πυκνότητα της να είναι πάντα σταθερή (μοντέλο της σταγόνας).

- Αφού $m = A \cdot u$ ($A =$ μαζικός αριθμός, $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ($= 1$ ατομική μονάδα μάζας \approx μάζα νουκλεονίου), για $\rho =$ σταθερή, θέλουμε

$$m \sim A \cdot u \sim V \sim (4/3) \cdot \pi \cdot R^3 \rightarrow R \sim A^{1/3} \text{ (R = ακτίνα του πυρήνα)}$$

$$R = R_0 A^{1/3}$$
$$R_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ fm}$$

R_0 η ακτίνα του πυρήνα του Υδρογόνου ($A = 1$)

- Επομένως:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{A \cdot u}{(4/3)\pi R^3} = \frac{A \cdot u}{(4/3)\pi R_0^3 A} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{4,1 \cdot 10^{-43} \text{ m}^3} = 2,3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

Αν συγκρίνουμε την πυρηνική πυκνότητα με αυτή του πυκνότερου στοιχείου (Όσμιο, πυκνότητα $\approx 23000 \text{ kg/m}^3 = 2,3 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$) παρατηρούμε ότι ο πυρήνας έχει 13 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη πυκνότητα από το μακροσκοπικό υλικό.

Πυκνότητες αυτού του μεγέθους απαντώνται στους αστέρες που ονομάζονται λευκοί νάνοι, οι οποίοι μοιάζουν με γιγαντιαίους πυρήνες.

1 cm^3 πυρηνικού υλικού θα ζύγιζε 230 εκατ. τόνους!

ΙΣΟΤΟΠΑ

Ο ατομικός αριθμός Z είναι χαρακτηριστικός του ατόμου κάθε στοιχείου και καθορίζει τη θέση του στο περιοδικό σύστημα και τις ιδιότητες του ατόμου, επειδή ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν στο ουδέτερο άτομο. Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου δεν έχουν τον ίδιο πάντοτε αριθμό νετρονίων στον πυρήνα τους και επομένως έχουν διαφορετικό μαζικό αριθμό A .

Τα στοιχεία με ίδιο ατομικό αριθμό Z και διαφορετικό μαζικό A , δηλαδή με διαφορετικό αριθμό νετρονίων N στον πυρήνα, ονομάζονται **ισότοπα** γιατί βρίσκονται στον ίδιο “τόπο” του περιοδικού συστήματος. Ένα ισότοπο X απεικονίζεται, συνήθως, με

τη μορφή: $\boxed{\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X}$

ΓΕΝΙΚΑ: ΙΣΟΤΟΠΑ → ΙΔΙΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ λόγω ίδιου αριθμού ηλεκτρονίων.

ΟΜΩΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, λόγω διαφορετικής πυκνότητας.

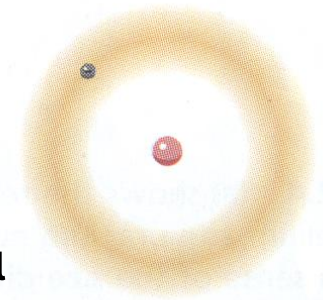
ΙΣΟΤΟΠΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Τα 3 ισότοπα του Υδρογόνου ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$ ανίζουν σημαντικές διαφορές και κατ' εξαίρεση έχουν τα δικά τους ονόματα.

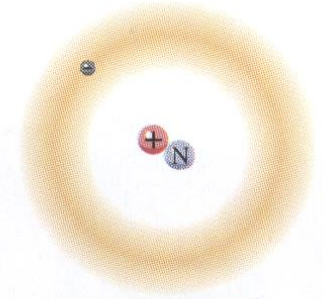
- Το κοινό Υδρογόνο ($Z=1$, $A=1$) είναι το ελαφρότερο και το συνηθέστερο (99.985%)
- Το **Δευτέριο** ${}^2_1\text{D}$ με ένα επιπλέον νετρόνιο εμφανίζεται αρκετά σπάνια (0.015%). Για κάθε 6500 άτομα κοινού υδρογόνου υπάρχει μόνο 1 άτομο δευτερίου.
- Το ραδιενεργό **Τρίτιο** ${}^3_1\text{T}$ με ακόμη ένα νετρόνιο είναι μακράν το λιγότερο άφθονο (για κάθε 10^{18} άτομα ${}^1\text{H}$ υπάρχει ένα άτομο ${}^3\text{T}$)

Τα ισότοπα του υδρογόνου (Εξαιτίας της τεράστιας διαφοράς που παρουσιάζουν ως προς τη μάζα τους), εμφανίζουν διαφορές και στις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες.

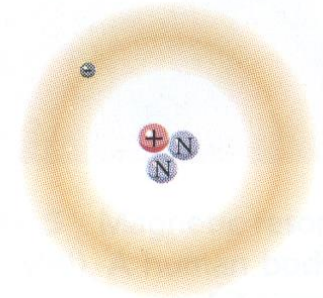
Π.χ. οι ζωντανοί οργανισμοί ανταποκρίνονται διαφορετικά στο νερό που σχηματίζεται από οξυγόνο και δευτέριο, γνωστό και ως βαρύ ύδωρ, το οποίο επίσης διαφέρει στα σημεία βρασμού και τήξης. Τα παγάκια, επίσης, του βαρέος ύδατος αν και έχουν τη συνηθισμένη όψη και γεύση δεν επιπλέουν στην επιφάνεια του κοινού νερού.



Hydrogen

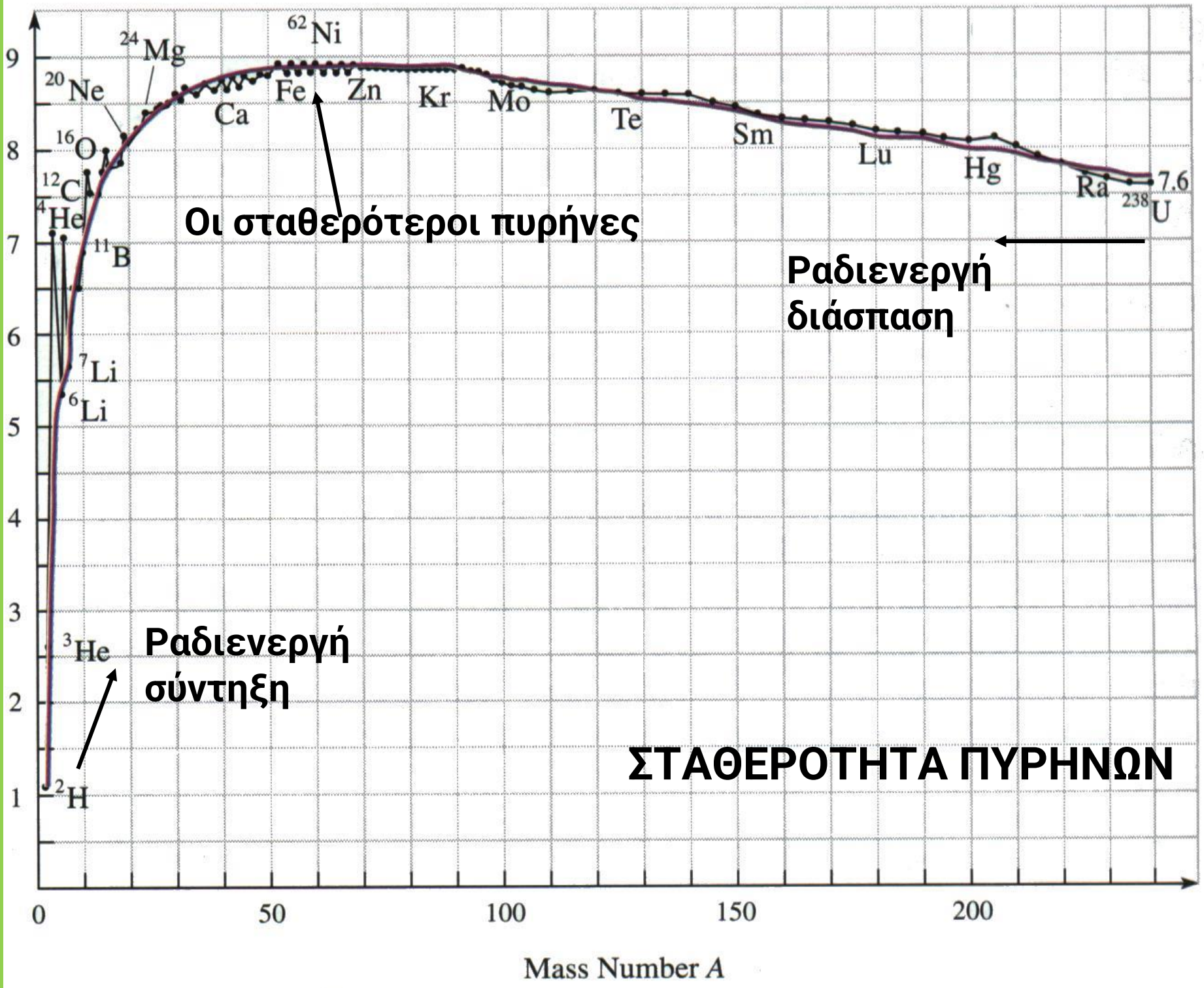


Deuterium



Tritium

Ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο (απόλ. τιμή) σε MeV/νουκλεόνιο
Όσο μεγαλύτερη, τόσο σταθερότερος ο πυρήνας



ΜΕΤΑΣΤΟΙΧΕΙΩΣΗ ΠΥΡΗΝΩΝ – διάσπαση - fission

- Πυρήνες με μεγάλο ατομικό αριθμό διασπώνται (αυθόρμητα ή εξαιτίας εξωτερικής διέγερσης) σε άλλους με διαφορετικό, υπό ταυτόχρονη έκλυση ακτινοβολίας

Το φαινόμενο ονομάζεται **ραδιενεργός διάσπαση**

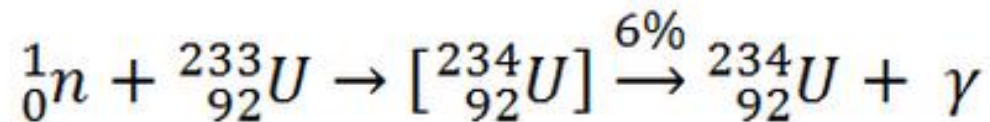
Η μετάπτωση των αρχικών πυρήνων σε πυρήνες άλλων στοιχείων λέγεται **μεταστοιχείωση**

Οι αρχικοί πυρήνες ονομάζονται **μητρικοί**

Οι παραγόμενοι πυρήνες ονομάζονται **θυγατρικοί**



Π.χ.



- Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη ραδιενεργό διάσπαση, είτε με τη μορφή κινητικής ενέργειας των σωματίων είτε με τη μορφή Η/Μ ακτινοβολίας, προέρχεται από **μετατροπή μέρους της μάζας του αρχικού πυρήνα σε ενέργεια**

α, β και γ ακτινοβολία

α-ακτίνες

απορροφώνται
εύκολα



- 1903 Rutherford & Geiger
α-σωματίδιο
έχει φορτίο $+2e$



- 1908 Rutherford & Royds
**α-σωματίδιο
είναι ο
πυρήνας του
ατόμου του He**

β-ακτίνες

διεισδυτικές



- 1899-αποκλίνουν
υπό μαγνητικά πεδία



- 1900-έχουν αρνητικό
φορτίο και e/m πολύ
κοντά σε αυτό των
καθοδικών ακτίνων



- 1902-μάζα ίση με αυτή του e



**Οι ακτίνες-β
είναι ηλεκτρόνια**

γ-ακτίνες

δεν αποκλίνουν σε
μαγνητικό πεδίο



- Πολύ διεισδυτικές



- 1914: Rutherford-Andrade

**ακτίνες γ: H/M
ακτινοβολία**

όπως ακτίνες-χ
αλλά μπορούν να
έχουν ακόμη
μικρότερο μήκος
κύματος $\sim 10\text{pm}$
(πιο διεισδυτικές)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΥΛΗ

Φορτισμένα σωμάτια: Σωματία α , β και πρωτόνια.

Προκαλούν ιονισμό των ατόμων και διέγερση, ιοντισμό ή και διάσπαση των μορίων.

Ενέργεια σωματίου α ή $\beta \sim 1\text{MeV}$ – Ενέργεια ιονισμού 10eV .

1 τέτοιο σωμάτιο μπορεί να προκαλέσει χιλιάδες ιοντισμούς

Ουδέτερα σωμάτια: Νετρόνια και νετρίνα. Αλληλεπιδρούν με τους πυρήνες των βιομορίων.

Νετρόνια: μεταστοιχείωση πυρήνων, καταστροφή μορίου, μετακινήσεις ατόμων στα μέταλλα και αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων τους.

Νετρίνα – ελάχιστη αλληλεπίδραση με την ύλη.

H/M ακτινοβολία: Ακτινοβολία X και γ

Προκαλούν διέγερση και ιονισμό ατόμων ή μορίων. Μέσω φωτοηλεκτρικού φαινομένου, φαινομένου Compton ή δίδυμης γένεσης παράγουν ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία προκαλούν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά των φορτισμένων σωματιδίων.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Ιονισμός μορίων →

παράγονται ιόντα και ελεύθερες ρίζες (π.χ H^+ , OH^- , $OH\cdot$ κ.α.) εξαιρετικά δραστικές που οδηγούν σε χημικές αντιδράσεις διαφορετικές από τις φυσιολογικές. Απελευθέρωση e^- μοριακών δεσμών – μεταβολή της δομής του μορίου

Καταστροφή-μεταβολή πρωτεϊνικού μορίου: Αντικαθίσταται με άλλο που παράγεται από το γονίδιο. Καταστροφή πολλών – μη αντιστρέψιμο φαινόμενο.

Καταστροφή-μεταβολή μορίου DNA: Μεταβολή γονιδίων – μεταβολή δομής παραγομένων πρωτεϊνών – μετάλλαξη ή θάνατος κυττάρου.

Ο οργανισμός μπορεί εύκολα να αντικαταστήσει ένα κατεστραμμένο κύτταρο ενώ η αντικατάσταση μεγάλου αριθμού κυττάρων είναι προβληματική. Ένα πάλι μεταλλαγμένο κύτταρο μπορεί να παράγει και άλλα ελαττωματικά κύτταρα – δημιουργία αποικίας κυττάρων ξένων προς τη λειτουργία του οργανισμού – κακοήθης όγκος (ταχύς πολλαπλασιασμός των κυττάρων του χωρίς σεβασμό του περιβάλλοντός του)

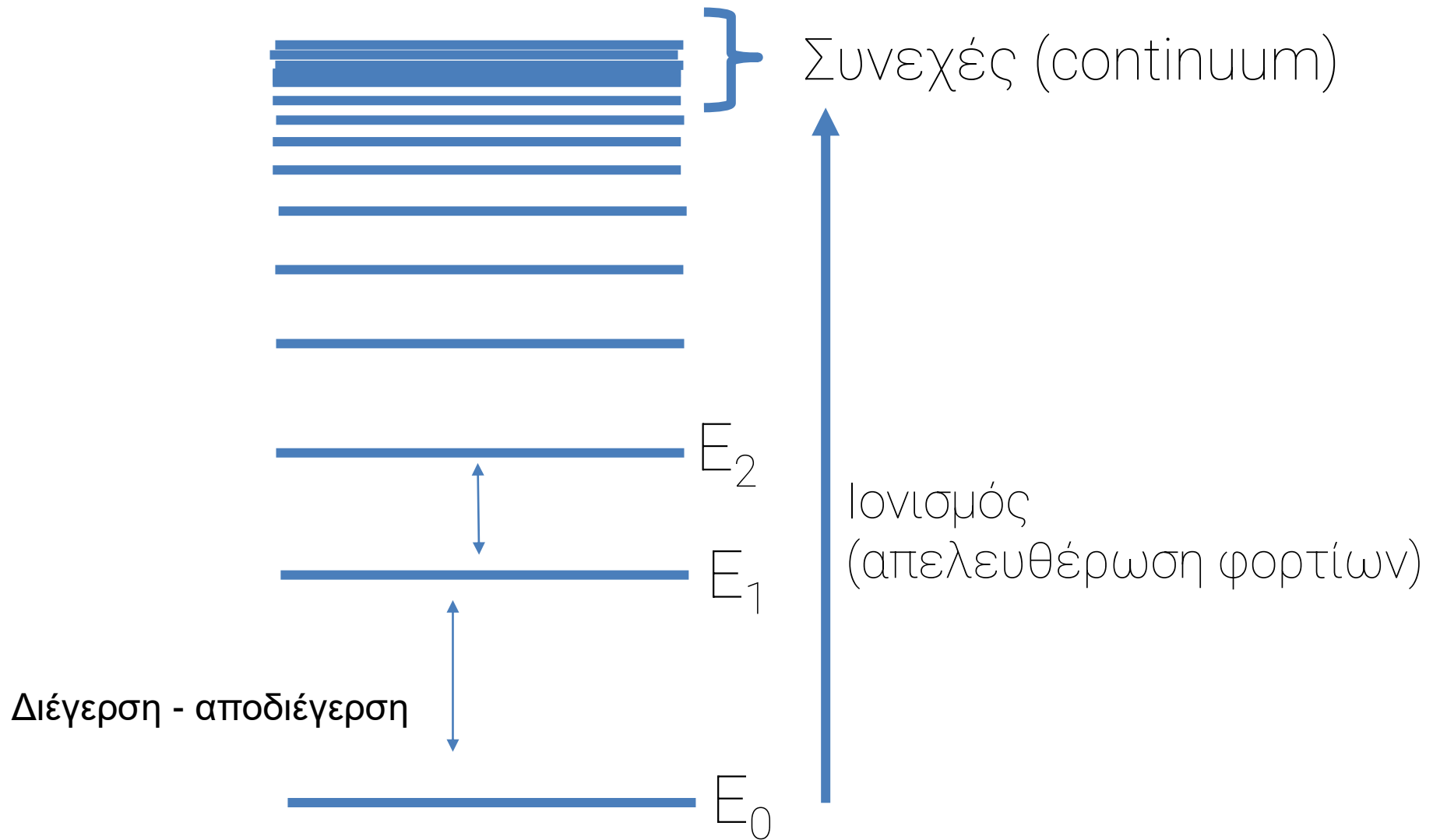
Σωματικές καταστροφές

Δημιουργία
καρκινώματος
Οξεία ακτινοπληξία

Γενετικές καταστροφές

Καταστροφή ή μετάλλαξη των κυττάρων
αναπαραγωγής
Στείρωση

Ενεργειακές στάθμες ατόμου ή μορίου Διέγερση - Ιονισμός



ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

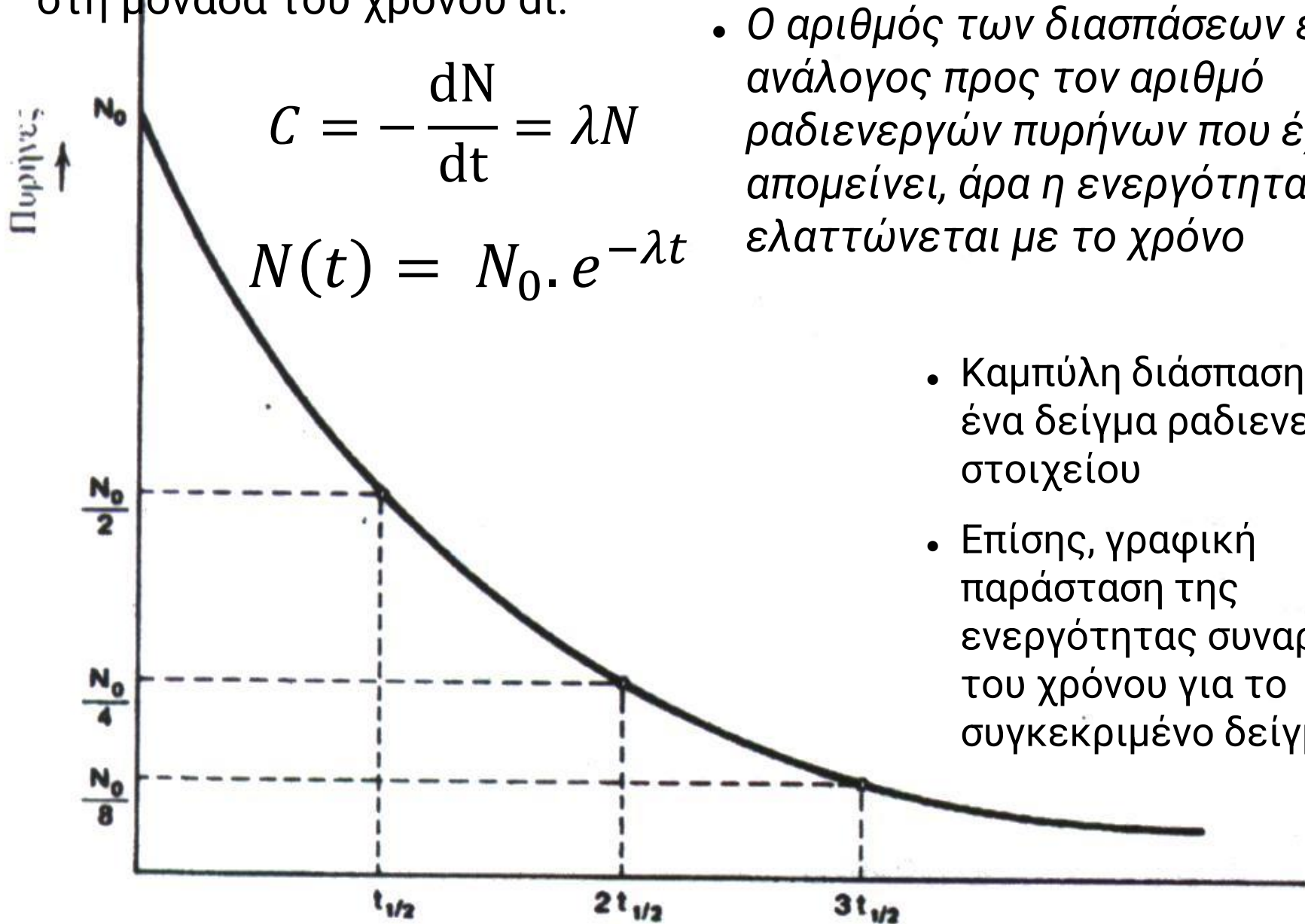
Ενεργότητα πηγής C: (είναι χαρακτηριστικό της πηγής)

- Ο αριθμός των πυρήνων ραδιενεργού πηγής dN που διασπώνται στη μονάδα του χρόνου dt :

$$C = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

- Ο αριθμός των διασπάσεων είναι ανάλογος προς τον αριθμό ραδιενεργών πυρήνων που έχουν απομείνει, άρα η ενεργότητα ελαττώνεται με το χρόνο



- Καμπύλη διάσπασης για ένα δείγμα ραδιενεργού στοιχείου
- Επίσης, γραφική παράσταση της ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου για το συγκεκριμένο δείγμα

Χρόνος υποδιπλασιασμού ($t_{1/2}$):

$N \rightarrow N_0/2$

(χρόνος μέσα στον οποίο έχουν μείνει αδιάσπαστοι οι μισοί αρχικοί ραδιενεργοί πυρήνες)

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t), \text{ εάν } N = \frac{N_0}{2} = N_0 \exp(-\lambda t_{1/2}) \Rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Ο ραδιενεργός πυρήνας έχει πρακτικά πεθάνει μετά από **$t = 10 \times t_{1/2}$**

Πυρήνας	$t_{1/2}$	
^{238}U	$4,51 \times 10^9$ χρόνια	Έκλυση μικρής ποσότητας ραδιενέργειας σε δεδομένο χρόνο
^{226}Ra	1620 χρόνια	Εκλύει σημαντικά ποσά ραδιενέργειας και για μεγάλο χρονικό διάστημα
^{131}Th	8,0 ημέρες	Ισχυρά ραδιενεργός αλλά η ραδιενέργεια σύντομα φτάνει να γίνεται αμελητέα

Ενεργότητα Πηγής

Μονάδες:

1 Curie: διασπάσεις που παρατηρούνται σε 1 gr **Ra** σε 1s

- 1 Curie (Ci) = $3,7 \times 10^{10}$ διασπάσεις / s
- 1 Becquerel (Bq) [S.I.] = 1 διάσπαση / s
 - 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

Ειδική Ενεργότητα Πηγής:

- Η ενεργότητα dC ανά μονάδα μάζας dm της πηγής:
 - dC / dm

Μονάδες:

- 1 Ci / gr
- 1 Bq / Kg = $2,7 \times 10^{-14}$ Ci / gr

ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

Δόση: Μέτρηση της ακτινοβολίας που απορροφάται από ένα οργανισμό

Απορροφούμενη Δόση (D):

Ορίζεται ως η ενέργεια E που αποθέτει η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά τη διέλευση της στη μονάδα μάζας m των ιστών.

- $D = E / m$

Μονάδες:

1 rad (radiation absorbed dose): ορίζεται ως η ποσότητα ακτινοβολίας που αποθέτει 0,01J ενέργειας ανά χιλιόγραμμο μάζας ιστού

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ J/kg}$$

- S.I. 1Gray (1 Gy) = 1 Joule/kg = 10^2 rad

Η απορροφηθείσα δόση αναφέρεται σε όλες τις ακτινοβολίες και αποτελεί μέτρηση της ολικής ενέργειας που απορροφά δεδομένο σώμα ή οργανισμός. Δεν αποτελεί μόνη της μέτρο των βιολογικών επιπτώσεων διότι τα βιολογικά αποτελέσματα δεν εξαρτώνται μόνο από τη δόση αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας.

Π.χ. Δεδομένη δόση ακτινοβολίας-α προκαλεί 10 φορές περισσότερες βιολογικές βλάβες από ίση δόση ακτίνων X

ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

Ισοδύναμη Δόση (H): Μέτρηση της ακτινοβολίας που δέχεται ένας οργανισμός λαμβανομένων υπόψη των βιολογικών επιδράσεων αυτής

- Ισούται με το γινόμενο της απορροφούμενης δόσης επί ένα **συντελεστή ποιότητας που ονομάζεται Σχετική Βιολογική Δραστικότητα (RBE, Relative Biological Effectiveness)**, ο οποίος εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας:

- $H = D \times RBE$

Μονάδες:

- 1 rem (röntgen equivalent in man) = 1 rad x RBE
- S.I. 1 Sievert (1 Sv) = 1 Gy x RBE 1 Sv = 10² rem

Ακτινοβολία	Συντελεστής Ποιότητας (RBE)
• Η/Μ ακτινοβολία (Χ ή γ)	• 1
• Σωματία β με ενέργεια > 30 keV	• 1 • 5
• Βραδέα νετρόνια	• 10
• Ταχεία νετρόνια	• 10 – 20
• Σωματία α	• 20
• Βαρέα ιόντα	

Αποτελέσματα απορρόφησης ακτινοβολίας

ισοδύναμο δόσεως rem	αποτελέσματα
0-25	δεν υπάρχουν άμεσα κλινικά αποτελέσματα
25-50	μικρή παροδική αλλοίωση του αίματος
50-100	σοβαρές αλλοιώσεις του αίματος πιθανή μικρή ελάττωση του χρόνου ζωής
100-200	κλινικά αποτελέσματα, πιθανός ο θάνατος, δυνατή η θεραπεία
200-400	κλινικά αποτελέσματα, μικρό ποσοστό θανάτων σε 2-6 εβδομάδες
400	50 % θάνατοι σε κάποιο χρονικό διάστημα
600	θάνατοι μέχρι και 100 % από τη δεύτερη εβδομάδα μετά την ακτινοβολήση.

Μέγιστες επιτρεπτές δόσεις (rem)

όργανο	μέγιστες επιτρεπτές δόσεις		
	επαγγελματίες		μη επαγγελματίες
	3 συνεχείς μήνες	1 χρόνο	1 χρόνο
ολόκληρο το σώμα αιμοποιητικά όργανα φακοί οφθαλμών γεννητικοί αδένες	3	5	0.5
δέρμα θυρεοειδής οστά	8	30	3
άκρα	25	75	7.5
διάφορα μεμονωμένα όργανα	4	15	1.5

Χρήσεις της ακτινοβολίας

Ιατρική: Διάγνωση - Θεραπεία

Διάγνωση

- Ακτινογραφίες
- Ιχνηθέτες: ^{131}I για τη λειτουργία του θυρεοειδούς αδένα
 ^{32}P εντοπίζεται στα οστά, ^{59}Fe στην σπλήνα, ^{210}Pb στα νεφρά

Θεραπεία

- Ακτινοβόληση καρκινικών όγκων:
 - ακτινοβολία γ (^{60}Co) και X αλλά συχνά και πρωτόνια, ηλεκτρόνια ή άλλα φορτισμένα σωματίδια μετά από κατάλληλη επιτάχυνση τους.
 - Εισαγωγή ραδιοϊσοτόπου μέσω της πεπτικής ή κυκλοφοριακής οδού, π.χ. εισαγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων ^{131}I για τη θεραπεία καρκινικών όγκων ή υπερθυρεοειδισμού

Γεωπονία

χρησιμοποίηση ραδιοϊσοτόπων ως **ιχνηθέτες**

αυτοραδιογραφία

λήψη ακτινογραφήματος στο οποίο αποτυπώνεται η κατανομή των ραδιοϊσοτόπων

- Φωσφορούχο λίπασμα στο οποίο ο κοινός φώσφορος έχει αντικατασταθεί με ^{32}P . Μελέτη της ταχύτητας και του τρόπου απόθεσης του φωσφόρου σε διάφορα σημεία του φυτού.
- ^{14}C : Βρίσκεται σε πολύ μικρό ποσοστό στο διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και προσλαμβάνεται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Είναι ραδιενεργό ισότοπο με χρόνο υποδιπλασιασμού 5760 χρόνια. Μελέτη των τμημάτων του φυτού που μετέχουν στη φωτοσύνθεση.
- ^{15}O ή ^{19}O : Υδατικό διάλυμα εμπλουτισμένο με αυτά τα ραδιοϊσότοπα εισάγεται στο ριζικό σύστημα του φυτού – χαρτογράφηση της πορείας του μεταβολισμού.

ραδιοχρονολόγηση

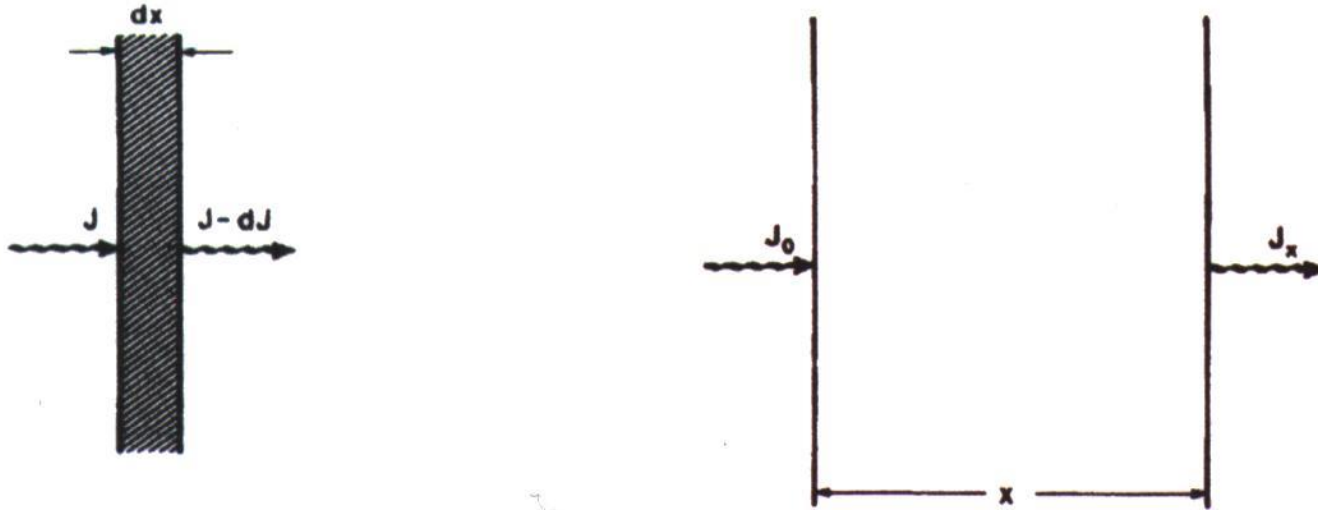
Γεωλογία:

Μέτρηση του λόγου ^{40}K προς ^{40}Ar ($t_{1/2} = 1,25 \times 10^9$ έτη) ή ^{235}U προς ^{207}Pb για τον υπολογισμό της ηλικίας πετρωμάτων από τη γη, το φεγγάρι και μετεωριτών.

Αρχαιολογία:

Μέτρηση επιπέδου ^{14}C ($t_{1/2} = 5730$ έτη) και σύγκριση του με εκείνο που θα έπρεπε να υπάρχει αν δεν είχαν σταματήσει οι φυσιολογικές λειτουργίες του φυτικού ή ζωικού οργανισμού για τον υπολογισμό της ηλικίας του ευρήματος

- Η ακτινοβολία γ ανακόπτεται πολύ δύσκολα και από υλικά με μεγάλο μαζικό αριθμό



$$\frac{dJ}{dx} = -\mu J \Leftrightarrow \mu = -\frac{dJ}{J} \frac{1}{dx}$$

μ (σταθερά): Γραμμικός **Συντελεστής Απορρόφησης**. **Εξαρτάται** από το υλικό που απορροφά και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

- Το ποσοστό της εντάσεως της ακτινοβολίας που απορροφάται από υλικό στη μονάδα πάχους dx . Μονάδες μ : [cm^{-1} ή mm^{-1}]

- Για φύλλο πεπερασμένου πάχους x :

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

$x_{1/2}$: Πάχος ημιαπορρόφησης

το πάχος του φύλλου του υλικού για το οποίο η αρχική ένταση J_0 μειώνεται στο μισό.

$$J = J_0 e^{-\mu x}, \text{ εάλν } J = \frac{J_0}{2} = J_0 \exp(-\mu x_{1/2}) \Rightarrow x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}$$

- Κατασκευή θωράκων:

- Υλικό μεγάλου μαζικού αριθμού
- φθηνό

} **Μόλυβδος**

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΛΥΜΕΝΕΣ

1.

Το Τεχνήτιο (Tc) είναι χημικό στοιχείο με $Z = 43$. Ονομάστηκε έτσι επειδή ήταν το πρώτο στοιχείο που σχηματίστηκε εξ ολοκλήρου εργαστηριακά.

Το βραχυβιότερο ισότοπό του, Τεχνήτιο-99m (δηλ., με $A = 99$), με χρόνο υποδιπλασιασμού 6 h , εκπέμπει ακτινοβολία- γ και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς διαγνωστικούς ελέγχους.

Πόσα Ci είναι η αρχική ενεργότητα (ραδιενέργεια) δείγματος 120 mg ^{99m}Tc και πόσα mg του παραμένουν ενεργά 24 h μετά την παρασκευή του;

→ Τεχνήτιο-99m: διεγερμένη κατάσταση του Τεχνητίου-99

Απάντηση:

Η ενεργότητα είναι $C = dN/dt = \lambda \cdot N$

Η αρχική ενεργότητα είναι $C_0 = \lambda \cdot N_0$, όπου N_0 ο αρχικός αριθμός πυρήνων.

Το λ το βρίσκουμε από τον χρόνο υποδιπλασιασμού: $t_{1/2} = 0,693/\lambda$ και λύνοντας ως προς λ παίρνουμε $\lambda = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

Το N το βρίσκουμε ρωτώντας πόσοι πυρήνες υπάρχουν σε 120 mg Tc-99.

Σε 1 mole Tc-99 (μάζα 99 g) υπάρχουν $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ πυρήνες (αρ Avogadro).

Άρα σε 120 mg θα υπάρχουν $6 \cdot 10^{23} \cdot (120 \cdot 10^{-3}/99) = 7,27 \cdot 10^{20}$ πυρήνες = N_0 .

Άρα η αρχική ενεργότητα είναι $C_0 = \lambda \cdot N_0 = 6,3 \cdot 10^5 \text{ Ci}$

Μετά από χρόνο t , ο αριθμός των ενεργών πυρήνων που παραμένουν είναι

$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$. Άρα $N/N_0 = e^{-\lambda \cdot t}$. Προφανώς το ίδιο θα ισχύει για την μάζα του Tc-99 που παραμένει ενεργή: $M = M_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

Άρα μετά από 24 ώρες, τα ενεργά mg θα είναι $120 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$\lambda \cdot t = 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot (3600 \cdot 24) = 2,76$

$M = 120 \cdot e^{-2,76} \sim 7,5 \text{ mg}$ παραμένουν ενεργά.

ευκολότερος τρόπος!!!!

$$t_{1/2} = 6\text{h}$$

Σε 24 h έχουν περάσει 4 χρόνοι ημιζωής

$$t = t_{1/2} \rightarrow N = N_0/2$$

$$t = 2 \cdot t_{1/2} \rightarrow N = N_0/4$$

$$t = 3 \cdot t_{1/2} \rightarrow N = N_0/8$$

$$t = 4 \cdot t_{1/2} \rightarrow N = N_0/16$$

$$\text{Με όρους μάζας: } m(4 \cdot t_{1/2}) = m_{\text{αρχ}}/16 = 120/16 = 7,5 \text{ mg}$$

3.

Φυτικό υλικό μάζας 200 g δέχεται γ-ακτινοβολία (RBE = 1,1) και μετρίεται ισοδύναμη δόση = 220 krem. Πόση είναι η ενέργεια σε Joule που έχει δεχτεί; Πόση θα ήταν η ενέργεια αυτή αν αντί για ακτίνες-γ δεχόταν ακτίνες-X (RBE = 0,85);

Απάντηση

$$H = D \cdot RBE \Rightarrow D = H/RBE = 220 \cdot 10^3 / 1,1$$

$$\text{Άρα } D = 2 \cdot 10^5 \text{ rad} = 2 \cdot 10^7 \text{ J/Kg}$$

$$D = E/m \Rightarrow \mathbf{E = D \cdot m = 2 \cdot 10^7 \cdot 0,2 = 4 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

Για ακτίνες X, λύνουμε το ίδιο με RBE = 0,85.

Θέματα 2017

Ο άνθρακας ^{14}C χρησιμοποιείται για την ραδιοχρονολόγηση.

A. Από πόσα άτομα αποτελείται $1\text{ gr }^{14}\text{C}$;

B. Σε $1\text{ gr }^{14}\text{C}$, πόσα άτομα διασπώνται ανά sec;

Γ. Τι μορφή έχει η καμπύλη που περιγράφει τον αριθμό των ατόμων ^{14}C που απομένουν σε συνάρτηση με τον χρόνο;

Δεδομένα: Αριθμός Avogadro: $6 \cdot 10^{23}$ άτομα/mole.

Χρόνος ημιζωής ^{14}C : $\tau_{1/2} = 1,8 \cdot 10^{11}$ sec, 1 έτος $\sim 3 \cdot 10^7$ sec.

Λύση

A. 1 mole ^{14}C (14 g) έχει 6×10^{23} άτομα. Άρα το 1 g θα έχει $N = 6 \times 10^{23} / 14 = \mathbf{0,43 \times 10^{23}}$ άτομα.

B. Το ερώτημα μας ζητά την ενεργότητα $1\text{g }^{14}\text{C}$. Η ενεργότητα $C = \lambda \cdot N$.

$$\lambda = 0,693 / \tau_{1/2} = 0,39 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1} .$$

Άρα $\lambda \cdot N = 0,39 \times 10^{-11} \times 0,43 \times 10^{23} = \mathbf{0,17 \times 10^{12} \text{ Becquerel (διασπ/δευτερ)}}$.

$$\text{Γ. } \mathbf{N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}}$$

2. Η ακτινοβόληση με ακτίνες- γ χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις στην βιομηχανία τροφίμων, για την εξουδετέρωση βακτηρίων. Υποθέτουμε ότι μία πηγή 1 γραμμαρίου Κοβαλτίου-60 χρησιμοποιείται για την ακτινοβόληση 1 Kg κρέατος.

A. Πόσοι πυρήνες βρίσκονται σε 1 g Co-60 (δεχτείτε ατομική μάζα ίση με 60);

B. Ο χρόνος ημιζωής του Co-60 είναι 5,27 έτη. Δώστε την σχέση που δίνει τον αριθμό πυρήνων Co-60 συναρτήσει του χρόνου.

Γ. Δίνεται ότι $4 \cdot 10^{13}$ πυρήνες Κοβαλτίου-60 διασπώνται σε 1 δευτερόλεπτο από την πηγή μας. Για μικρούς χρόνους ο ρυθμός διάσπασης μπορεί να θεωρηθεί σταθερός. Κάθε διάσπαση απελευθερώνει ταυτόχρονα δύο ακτίνες- γ 1,17 MeV και 1,33 MeV αντίστοιχα. Πόσο χρόνο πρέπει να ακτινοβοληθεί 1 Kg κρέατος ώστε να πάρει δόση 3kGy; Υποθέτουμε ότι το σύνολο της ενέργειας των ακτίνων γ απορροφάται από το κρέας.

Δεδομένα: Αριθμός Avogadro: $6 \cdot 10^{23}$ άτομα/mole. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/Kg}$. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. $1 \text{ έτος} \sim 3 \times 10^7 \text{ sec}$.

Λύση

A. Σε 1 mole (= 60 g) Co-60 υπάρχουν $N_A = 6 \times 10^{23}$ πυρήνες.
Σε 1 g θα υπάρχουν $6 \times 10^{23} / 60 = \mathbf{10^{22}}$ πυρήνες.

B. $5,27 \text{ \acute{e}\tau\eta} = 15,81 \times 10^7 \text{ s} \sim 1,6 \times 10^8 \text{ s} = \tau$
 $\lambda = 0,693 / \tau = 0,43 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
Η σχέση είναι: $\mathbf{N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}}$

Γ. Η ολική ενέργεια που εκπέμπεται από κάθε διάσπαση είναι
 $1,17 + 1,33 = 3 \text{ MeV} = \mathbf{3 \times 10^6 \text{ eV}}$

Δόση $3 \text{ kGray} = 3 \times 10^3 \text{ Gray} = 3 \times 10^3 \text{ J/Kg}$. Άρα το 1 Kg κρέατος πρέπει να δεχθεί
ενέργεια $\mathbf{3 \times 10^3 \text{ J}}$.

Σε 1 s, η ενέργεια που εκπέμπεται είναι $4 \times 10^{13} \times 3 \times 10^6 \text{ eV} =$
 $= 4 \times 10^{13} \times 3 \times 10^6 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{19,2 \text{ J}}$.

Άρα, ο απαιτούμενος χρόνος ακτινοβολήσης είναι:

$3 \times 10^3 / 19,2 = \mathbf{156,25 \text{ s}}$

3.

Ένα φωτόνιο ακτινοβολίας γ που προκύπτει από την αποδιέγερση του πυρήνα του Ni-60, έχει ενέργεια 1,17 MeV. Πόση είναι η δόση που θα απορροφηθεί από ένα ζωικό ιστό μάζας 3 kg αν δεχθεί 1000 φωτόνια αυτής της ακτινοβολίας; Πόση είναι η ισοδύναμη δόση αν για την ακτινοβολία αυτή και αυτόν τον ιστό RBE = 1,2 ;
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ J/Kg}$.

Λύση

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια } \mathbf{E} &= 1000 \text{ φωτόνια} \times 1,17 \text{ MeV} = 10^3 \times 1,17 \times 10^6 \text{ eV} \\ &= 1,17 \times 10^9 \text{ eV} = 1,17 \times 10^9 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{1,9 \times 10^{-10} \text{ J}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Δόση } D &= E/m = 1,9 \times 10^{-10} / 3 = 0,63 \times 10^{-10} \text{ J/Kg} \\ &= 0,63 \times 10^{-8} \text{ rad} = 6,3 \times 10^{-9} \text{ rad} = 6,3 \text{ nrad} \end{aligned}$$

$$\text{Ισοδύναμη δόση} = H = D \times \text{RBE} = 6,3 \text{ nrad} \times 1,2 = 7,56 \text{ nrem}$$

4.

Φυτικό υλικό μάζας 500 g δέχεται γ-ακτινοβολία (RBE = 1,1) και μετριέται ισοδύναμη δόση = 250 Krem. Πόση είναι η ενέργεια σε Joule που έχει δεχτεί; Πόση θα ήταν η ενέργεια αυτή αν αντί για ακτίνες-γ δεχόταν ακτίνες-X (RBE = 0,85);

Λύση

$$H = 250 \text{ Krem} = D \times \text{RBE} = D \times 1,1$$

$$\rightarrow D = H/\text{RBE} = 227,3 \text{ Krad} = 227,3 \times 10^3 \text{ rad} = 227,3 \times 10^3 \times 10^{-2} \text{ J/Kg} \\ = \mathbf{2273 \text{ J/Kg}}$$

$$D = E/m \rightarrow E = D \times m = 2273 \times 0,5 = 1136,5 \text{ J}$$

Για τις ακτίνες x η λύση είναι η ίδια με RBE = 0,85.

5.

Ένας άνθρωπος έχει εκτεθεί σε 1 rad ακτινοβολίας γ (συντελεστής ποιότητας RBE =1) και 0,5 rad ακτινοβολίας α (συντελεστής ποιότητας RBE=10). Ποιες είναι οι ισοδύναμες δόσεις σε rem; Ποια είναι πιο επιβλαβής;