Πυρηνική και Στοιχειώδη Ι
(5ου εξαμήνου)

Α**σκήσεις Πυρηνικής**

Δ. Σαμψωνίδης - Κ. Κορδάς

21-Ιανουαρίου-2011

Σημείωση

- **Εδώ βάζουμε κάποιες Ασκήσεις και το ελάχιστο που χρειάζεται για τη λύση αυτών των ασκήσεων και μόνο**
  - **Δηλαδή:**
    - **τα λίγα που αναφέρουμε εδώ, ΔΕΝ υποκαθιστούν τις πλήρεις διαφάνειες που είναι ανηρτημένες στην ιστοσελίδα του μαθήματος**

      http://skiathos.physics.auth.gr/atlas/Nuclear_Physics/

- Επίσης, ασκήσεις έχουμε και σε άλλα μαθήματα (π.χ., η σκέδαση Rutherford με το άλφα από το Πολώνιο να πέφτει πάων σε φύλλο χρυσού).

Ενέργεια σύνδεσης και μάζες πυρήνων

- **Ενέργεια σύνδεσης = B(N,Z) =**

  πόση ενέργεια πρέπει να δώσω για να διαλύσω τον πυρήνα στα συστατικά του νουκλεόνια (εις τα εξ ων συνετέθη)

  Mπυρήνα + Ενέργεια Σύνδεσης = Σm (ελεύθερα νουκλεόνια)

- Η ενέργεια (=μάζα) που έχουν οι σταθεροί πυρήνες είναι μικρότερη απ' το να έχουμε τα συστατικά νουκλεόνια μόνα τους, ελεύθερα
  - Αλλιώς δεν υπήρχε λόγος για τα νουκλεόνια να παραμείνουν στη σταθερότητα της παρέας
  - Πόσο μικρότερη? Όσο η ενέργεια σύνδεσης

    Mπυρήνα = Σm (ελεύθερα νουκλεόνια) - B(Z,N)

Ενέργεια σύνδεσης, μάζες πυρήνων και πυρηνικές αντιδράσεις

- **Αρχικοί πυρήνες → Τελικοί πυρήνες + Q**
- **Να θυμάστε: η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας**
- **Ενέργεια πριν = Ενέργεια μετά**
  Η ενέργεια πριν είναι όση η μάζα των αρχικών πυρήνων.
  Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται στο να φτιαχτούν τα προϊόντα, και η υπόλοιπη ελευθερώνεται ως κινητική ενέργεια (Q) που τη μοιράζονται τα προϊόντα
- Σ Μ(αρχικά) = Σ Μ(τελικά) + Q
  αν Q>0 (εξωθερμική) η διάσπαση γίνεται μόνη της και δίνει και ενέργεια
- Μπυρήνα = Σm (ελεύθερα νουκλεόνια) - B(N,Z)

Ενέργεια σύνδεσης, μάζες πυρήνων και πυρηνικές αντιδράσεις

- **Ενέργεια σύνδεσης = B(N,Z)**

$M_{πυρήνα} = \Sigma m$ (ελεύθερα νουκλεόνια) - B(N,Z)

Πίνακας 4.2 στο βιβλίο σας

Πειραματικές τιμές

Table 4.2. *Energies of some light nuclei*

Nucleus	Binding energy (MeV)	Binding energy of last nucleon (MeV)	Binding energy per nucleon (MeV)	Spin and parity
$^{2}_{1}H$	2.22	2.2	1.1	1^+
$^{3}_{2}H$	8.48	6.3	2.8	$\frac{1}{2}^+$
$^{4}_{2}He$	28.30	19.8	7.1	0^+
$^{5}_{2}He$	27.34	−1.0	5.5	$\frac{3}{2}^-$
$^{6}_{3}Li$	31.99	4.7	5.3	1^+
$^{7}_{3}Li$	39.25	7.3	5.6	$\frac{3}{2}^-$
$^{8}_{4}Be$	56.50	17.3	7.1	0^+
$^{9}_{4}Be$	58.16	1.7	6.5	$\frac{3}{2}^-$
$^{10}_{5}B$	64.75	6.6	6.5	3^+
$^{11}_{5}B$	76.21	11.5	6.9	$\frac{3}{2}^-$
$^{12}_{6}C$	92.16	16.0	7.7	0^+
$^{13}_{6}C$	97.11	5.0	7.5	$\frac{1}{2}^-$
$^{14}_{7}N$	104.66	7.6	7.5	1^+
$^{15}_{7}N$	115.49	10.8	7.7	$\frac{1}{2}^-$
$^{16}_{8}O$	127.62	12.1	8.0	0^+
$^{17}_{8}O$	131.76	4.1	7.8	$\frac{5}{2}^+$

Άσκηση 1: Γίνεται η αντίδραση?

Άσκηση 1:

Γίνεται η αντίδραση $^{12}C \rightarrow \alpha + \alpha + \alpha$?

Αν ναι, πόση κινητική ενέργεια παίρνουν τα προϊόντα?

Αν όχι, πόση ενέργεια χρειάζεται να δώσουμε για να σπάσουμε τον πυρήνα του ^{12}C ?

Δίνονται:

1 amu = 931.49 MeV/c^2 και 1 eV = 1.6 x 10^{-19} J

- M(n) = 939.57 MeV, M(p) = 938.27 MeV, M(e) = 0.511 MeV, m(ν)=0
- Ενέργειες Σύνδεσης (B) είναι:

B(^4He) = 28.30 MeV , B(^{12}C) = 92.16 MeV

(Γνωρίζουμε φυσικά ότι το σωματίδιο α είναι ο πυρήνας ^4He)

Άσκηση 1: Γίνεται η αντίδραση? - Λύση

- Αρχή διατήρησης της ενέργειας
  - **Ενέργεια πριν = Ενέργεια μετά**
  - **Η μάζα είναι μιά μορφή ενέργειας**
  - Άρα: **Σ Μ(αρχικά) = Σ Μ(τελικά) + Q**
  - Για να γίνεται η αντίδραση πρέπει $\boxed{Q \geq 0}$ (“εξωθερμική”)
- Η μάζα κάθε πυρήνα υπολογίζεται από τις μάζες των συστατικών του (πρωτόνια και νετρόνια) και την ενέργεια σύνδεσής τους
  - $M(^{12}C) = 6*M(p) + 6*M(n) – B(^{12}C)$

    $= 6*938.27$ MeV $+ 6*939.57$ MeV $– 92.16$ MeV $= 11162.8$ MeV
  - $M(\alpha) = 2*M(p) + 2*M(n) – B(\alpha) = \ldots = 3723.38$ MeV
- $M(^{12}C) = 3* M(\alpha) + Q \rightarrow Q = M(^{12}C) - 4* M(\alpha) =$ **−7.26 MeV** (δηλ. $Q<0$)
- Άρα, η μάζα του ^{12}C δεν είναι αρκετά μεγάλη για να γίνεται η αντίδραση αυθόρμητα.
  - Μπορεί να γίνει μόνο αν δώσουμε ενέργεια 7.26 MeV στον ^{12}C

Άσκηση 2: Γίνεται η αντίδραση?

Άσκηση 2:

Γίνεται η αντίδραση $^{210}Po \rightarrow\ ^{206}Pb + a$?

Αν ναι, πόση κινητική ενέργεια παίρνουν τα προϊόντα?

Αν όχι, πόση ενέργεια χρειάζεται να δώσουμε για να σπάσουμε τον πυρήνα του ^{210}Po ?

Δίνονται: το βιβλίο σας

1 amu = 931.49 MeV/c^2 και 1 eV = 1.6 x 10^{-19} J

- M(n) = 939.57 MeV, M(p) = 938.27 MeV, M(e) = 0.511 MeV, M(ν)=0
- Ενέργεια Σύνδεσης (B) για το ^{4}He είναι 28.30 MeV

M(^{210}Po) = 209.98287 amu, M(^{206}Pb) = 205.97447 amu,

Άσκηση 2: Γίνεται η αντίδραση? - Λύση

- Αρχή διατήρησης της ενέργειας
  - **Ενέργεια πριν = Ενέργεια μετά**
  - **Η μάζα είναι μιά μορφή ενέργειας**
  - Άρα: **Σ Μ(αρχικά) = Σ Μ(τελικά) + Q**
  - Για να γίνεται η αντίδραση πρέπει $\boxed{Q \geq 0}$ ("εξωθερμική")
- Η μάζα κάθε πυρήνα υπολογίζεται από τις μάζες των συστατικών του (πρωτόνια και νετρόνια) και την ενέργεια σύνδεσής τους
  - $M(^{210}Po)$ = 209.98287 amu = 209.98287 * 931.49 MeV = 195596.94 MeV
  - Παρόμοια $M(^{206}Po)$ = 191863.16MeV
  - M(α) = 2*M(p) + 6*M(n) – B(α) = … = 3723.38 MeV
- $M(^{210}Po) = M(^{206}Po) + M(\alpha) + Q \rightarrow Q = M(^{210}Po) - M(^{206}Po) - M(\alpha) =$ **10.4 MeV** (δηλ. Q>0, και άρα γίνεται αυθόρμητα)
- Άρα, η μάζα του ^{210}Po είναι αρκετή για να γίνεται η αντίδραση αυθόρμητα.
- Η ενέργεια του ^{210}Po χρησιμοποιείται για να φτιαχτούν τα ^{206}Po και α, και το περίσευμα Q μοιράζεται ως κινητική ενέργεια στα προϊόντα. Το α όμως είναι κατά πολύ ελαφρύτερο από το ^{206}Po, και άρα παίρνει τη μερίδα του λέοντος. Σε σχετικά καλή προσέγγιση λοιπόν, όλο το Q το παίρνει το α ως κινητική ενέργεια.

Άσκηση 3: Σχάση ουρανίου-235 (^{235}U)

Άσκηση 3:

α) Πόση ενέργεια εκλύεται κατά την παρακάτω αντίδραση σχάσης ουρανίου ^{235}U?

$$n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,n$$

β) Πόση ενέργεια εκλύεται κατά την παραπάνω αντίδραση σχάσης **από 1 kg** ουρανίου ^{235}U?

Δίνονται:

1 amu = 931.49 MeV/c^2 και 1 eV = 1.6 x 10^{-19} J

M(n) = 1.0087 amu, M(^{235}U) = 235.0439 amu,

M(Ba) = 140.9139 amu, M(Kr) = 91.8973 amu

Άσκηση 3: Σχάση ουρανίου-235 (^{235}U) - Λύση

- Αρχή διατήρησης της ενέργειας
  - **Ενέργεια πριν = Ενέργεια μετά , Η μάζα είναι μιά μορφή ενέργειας**
  - **Σ Μ(αρχικά) = Σ Μ(τελικά) + Q , για αυθόρμητη σχάση πρέπει** $\boxed{Q \geq 0}$
- Η μάζα κάθε πυρήνα δίνεται σε amu. Μπορώ να τις κάνω MeV αμέσως, ή να τις αφήσω σε amu, να βρω το Q σε amu και να το κάνω σε MeV στο τέλος.
- $M(^{235}U) + M(n) = M(^{141}Ba) + M(^{92}Kr) + 3*M(n) + Q$

  $\rightarrow Q = M(^{235}U) - M(^{141}Ba) - M(^{92}Kr) - 2*M(n) = 0.2513$ amu $\rightarrow$

  Q = 0.2513 * 931.49 MeV = **234.1 MeV** (δηλ. Q>0 : άρα γίνεται αυθόρμητα)
- Οπότε κατά την αντίδραση αυτή (δηλ., για ΕΝΑΝ μόνο πυρήνα ^{235}U), εκλύεται ενέργεια **234.1 MeV.**
- Για να βρούμε πόση ενέργεια εκλύεται κατά τη σχάση 1 kg ^{235}U, πρέπει να ξέρουμε πόσοι πυρήνες υπάρχουν σε 1kg ^{235}U.
- Ξέρουμε ότι σε 1 mol ^{235}U έχουμε $6.02 * 10^{23}$ πυρήνες και το 1 mol ζυγίζει όσο ο μαζικός αριθμός σε γραμμάρια, δηλαδή 235 gr.

  $\rightarrow$ 1 kg ^{235}U = 4.255 mol = $25.6 * 10^{23}$ πυρήνες ^{235}U.
- Ενέργεια από 1 kg ^{235}U = $25.6 * 10^{23} * 234.1$ MeV = $6 * 10^{26}$ MeV = $6 * 10^{26} * 10^{6}$ eV = $6 * 10^{26} * 10^{6} * 1.6 * 10^{-19}$ Cb*V = $9.6 * 10^{7}$ MJ (θυμάστε ότι 1 Cb*V = 1 Joyle = 1J)

Άσκηση 4: Σχάση ουρανίου-235 (^{235}U)

Άσκηση 4:

a) Πόση ενέργεια εκλύεται κατά την παρακάτω αντίδραση σχάσης του ουρανίου?

$$n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,n$$

b) Συγκρίνετε την ενέργεια αυτή με την ενέργεια που εκλύεται σε χημικές αντιδράσεις (όπου έχουμε ανταλλαγές ηλεκτρονίων των ατόμων, τα οποία έχουν ενέργειες της τάξης των eV, κι έτσι η τάξη μεγέθους για χημικές αντιδράσεις δύο ατόμων είναι eV)

c) Αν ένας πυρηνικός αντιδραστήρας έχει σχεδιαστεί να δίνει 1 MW θερμότητας συνεχώς, πόσες σχάσεις ουρανίου σαν την παραπάνω πρέπει να συμβαίνουν κάθε δευτερόλεπτο για να συντηρούν την ισχύ αυτή? Πόσο ουράνιο-235 καταναλώνεται κάθε χρόνο στον αντιδραστήρα?

Δίνονται: το βιβλίο σας
- παρ. 9.1, 9.2, 9.3
- παρ. 4.4., σελ. 60: 1 amu = 931.49 MeV/c^2 και 1 eV = 1.6 x 10^{-19} J

m(n) = 1.0087 amu, m(U) = 235.0439 amu,
m(Ba) = 140.9139 amu, m(Kr) = 91.8973 amu

Άσκηση 4: Σχάση ουρανίου-235 (^{235}U) - Λύση

- Από την Άσκηση 3, έχουμε υπολογίσει ότι κατά την αντίδραση αυτή (δηλ., για ΕΝΑΝ μόνο πυρήνα ^{235}U), εκλύεται ενέργεια **234.1 MeV**

- Οι ενέργειες που εκλύονται κατά τις χημικές αντιδράσεις είναι της τάξης των διαφορών στις ενεργειακές στάθμες των ατόμων, δηλαδή της τάξης των eV-keV, δηλαδή χοντρικά κατά 10^3 έως 10^6 φορές μικρότερες από τα MeV που είναι οι σχάσεις.

- 1 MW = 1 MJ/s (θυμνάστε ότι η ισχύς είναι ενέργεια ανά μονάδα χρόνου)

  1 χρόνος = 1y = 365*24*60*60 s = 31536000 s = 3.15 $* 10^7$ s

  Οπότε: 1 MW = 3.15 $* 10^7$ MJ/y

- Οπότε μπορούμε να βρούμε πόσους πυρήνες χρειαζόμαστε για να πάρουμε τόση ενέργεια σε ένα χρόνο

  Αριθμός σχάσεων ^{235}U σε ένα χρόνο = αριθμός πυρήνων ^{235}U που χρειαζόμαστε σε ένα χρόνο = $3.15 * 10^7$ MJ / 234.1 MeV =

  $3.15 * 10^7 * 10^6$ J / ($234.1 * 10^6 * 1.6 * 10^{-19}$ J) = $0.84 * 10^{24}$

  → οπότε χρειαζόμαστε:

  $0.84 * 10^{24} / (6.02 * 10^{23})$ mol = 1.4 mol = 1.4 * 235 gr = **329 gr ^{235}U**

Άσκηση 5 & 6: Σύντηξη υδρογόνου για παραγωγή ηλίου στον Ήλιο

Άσκηση 5:

Πόση ενέργεια θα ελευθερόνονταν αν το δευτέριο (^{2}H) μπορούσε να παράγει ήλιο (^{4}He) με την ακόλουθη αντίδραση σύντηξης?

$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{4}He$$

Δίνονται:

$1\ amu = 931.49\ MeV/c^2$ και $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

- $M(n) = 939.57$ MeV, $M(p) = 938.27$ MeV, $M(e) = 0.511$ MeV, $M(\nu)=0$
- Ενέργειες Σύνδεσης (B):

$B(^{4}He) = 28.30$ MeV , $B(^{2}H) = 2.2$ MeV, $B(^{3}H) = 8.48$ MeV

Άσκηση 6:

Ξανακάνετε τους υπολογισμούς λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι:

$^{1}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{2}H + e^{+} + \nu_e$, και κατόπιν

$^{1}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}He + \gamma$, και τελικά

$^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}H + {}^{1}H$

Άσκηση 5: Σύντηξη υδρογόνου - Λύση

- Αρχή διατήρησης της ενέργειας
  - **Ενέργεια πριν = Ενέργεια μετά , Η μάζα είναι μιά μορφή ενέργειας**
  - **Σ Μ(αρχικά) = Σ Μ(τελικά) + Q , για αυθόρμητη σχάση πρέπει** $\boxed{Q \geq 0}$
- Η μάζα κάθε πυρήνα υπολογίζεται από τις μάζες των συστατικών του (πρωτόνια και νετρόνια) και την ενέργεια σύνδεσής τους
  - $M(^{2}H) = M(p) + M(n) – B(^{2}H) = (938.27 + 939.57 – 2.2)$ MeV = 1875.64 MeV
  - $M(^{4}He) = 2*M(p) + 2*M(n) – B(^{4}He) = … = 3727.38$ MeV
  - $2*M(^{2}H) = M(^{4}He) + Q$

    → **Q** = $2*M(^{2}H) - M(^{4}He)$ = **23.9 MeV** (δηλ. Q>0, και άρα γίνεται)
- Οπότε κατά την αντίδραση αυτή (δηλ., όταν 2 πυρήνες δευτερίου συντήκονται και γίνονται 1 πυρήνας ^{4}He), εκλύεται ενέργεια **23.9 MeV.**

Άσκηση 6: Σύντηξη υδρογόνου σε βήματα - Λύση

- Όπως βρήκαμε στη άσκηση 5 την ενέργεια που εκλύεται σε κάθε μία αντίδραση, έτσι μπορούμε να κάνουμε κι εδώ για κάθε αντίδραση χωριστά:

$$^{1}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{2}H + e^{+} + \nu_e + 0.42\ \text{MeV}$$

$$^{1}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}He + \gamma + 5.49\ \text{MeV}$$

$$^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}H + {}^{1}H + 12.86\ \text{MeV}$$

- Όμως μπορούμε να δουλέψουμε όπως και με τις χημικές αντιδράσεις, και να καταλήξουμε σε μία αντίδραση της οποίας να βρούμε το Q. Οπότε μπορούμε:
  - Να πολλαπλασιάσουμε την κάθε αντίδραση με έναν αριθμό, κι έτσι αντί να περιγράφουμε τη συμμετοχή π.χ., ενός πυρήνα ^{1}H με την αντίδραση που γράφουμε, να βλέπουμε τι κάνουν 2 ή 3 πυρήνες).
  - Να προσθέτουμε τις αντιδράσεις και να απαλείφουμε από το ένα μέλος στο άλλο τα κοινά στοιχεία.

- Στην περίπτωσή μας:

$$2\ {}^{1}H + 2\ {}^{1}H \rightarrow 2\ {}^{2}H + 2\ e^{+} + 2\ \nu_e \qquad \text{, και κατόπιν}$$

$$2\ {}^{1}H + 2\ {}^{2}H \rightarrow 2\ {}^{3}He + 2\ \gamma \qquad \text{, και τελικά}$$

$$^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}H + {}^{1}H$$

- Το άθροισμα δίνει: $\mathbf{4\ {}^{1}H \rightarrow {}^{4}He + 2\ e^{+} + 2\ \nu_e + 2\ \gamma + Q}$

→ Q = 25 MeV για κάθε 4 πρωτόνια (^{1}H) που συντήκονται.

Άσκηση 7: Σύντηξη υδρογόνου για παραγωγή ηλίου στον Ήλιο

Άσκηση 7:

Πόσο υδρογόνο (^{1}H) πρέπει να μετατρέπεται σε ήλιο (^{4}He) κάθε δευτερόλεπτο στον Ήλιο, αν η ηλιακή σταθερά είναι 1.35 kW / m^2 στην επιφάνεια της Γης και η απόσταση Γης-Ηλίου είναι 1.5x10^8 km ?
(Υποθέστε εδώ ότι 4 $^{1}H \rightarrow {}^{4}He$, χωρίς άλλο προΪόν)

Δίνονται:

1 amu = 931.49 MeV/c^2 και 1 eV = 1.6 x 10^{-19} J

- M(n) = 939.57 MeV, M(p) = 938.27 MeV, M(e) = 0.511 MeV, M(ν)=0
- Ενέργειες Σύνδεσης (B):

  B(^{4}He) = 28.30 MeV , B(^{2}H) = 2.2 MeV, B(^{2}H) = 8.48 MeV

Άσκηση 7: Σύντηξη υδρογόνου - Λύση

- **$4\ {}^{1}H \rightarrow {}^{4}He + Q$**
- Γνωρίζετε φυσικά ότι ο πυρήνας του υδρογόνου (^{1}H) είναι το πρωτόνιο (όπως και ότι το ^{4}He είναι το σωμάτιο α, αν και αυτό είναι άσχετη πληροφορία γι αυτή την άσκηση εδώ). Παρόμοια με την άσκηση 5, παίρνουμε: Q = (4 * 938.27 - 3727.38) MeV = 25.7 MeV
- Η ενέργεια που εκλύεται στον ήλιο κατά τη σύντηξη 4 πυρήνων υδρογόνου για παραγωγή ηλίου είναι 25.7 MeV, δηλαδή **6.43 MeV ανά πυρήνα υδρογόνου = $6.43 * 10^{6} * 1.6\ 10^{-19}$ J = 10^{-12} J**
- Ο ήλιος εκπέμπει την ενέργεια αυτή. Όση ενέργεια εκπέμπαι από τον ήλιο σε κάθε δευτερόλεπτο, διαχέεται ακτινικά πρός τα έξω. Οπότε το σύνολο της ενέργειας που "περνάει" μέσα από μια επιφάνεια $4\pi R^2$ κάθε δευτερόλεπτο, είναι όση εκπέμπαι από τον ήλιο σε κάθε δευτερόλεπτο.
- Στη Γη ξέρουμε την ηλιακή σταθερά, δηλ. πόση ηλιακή ενέργεια "πέφτει" σε μια επιφάνεια 1 m^2, σε κάθε δευτερόλεπτο = 1.35 kW / m^2 = 1.35 (kJ/s) / m^2
- Οπότε, στην απόσταση Γης-Ήλιου (σε ακτίνα $R=1.5 \times 10^{8}$ km από τον ήλιο), περνούν $1.35 * 4\pi R^2$ kJ/s / m^2 και άρα ο ήλιος εκπέμπει $3.8 * 10^{26}$ J ανά sec.
- Άρα χρειάζονται ($3.8 * 10^{26}$ J/s)/(10^{-12} J) = $3.8*10^{38}$ πυρήνες υδρογόνου ανά sec.
- Αφού $6.02 * 10^{23}$ πυρήνες **^{1}H** ζυγίζουν 1 γρ (όσο ο μαζικος αριθμός), τότε στον ήλιο συντήκονται $3.8 * 10^{38} / 6.02 * 10^{23}$ = **$6.3 * 10^{11}$ kg ^{1}H ανά sec!!!**

Ραδιενέργεια - Διασπάσεις ασταθών πυρήνων

Ραδιενεργός διάσπαση

Πυρήνες με μεγάλο ατομικό αριθμό διασπώνται (αυθόρμητα ή εξαιτίας εξωτερικής διέγερσης) με ταυτόχρονη έκλυση ακτινοβολίας
(μεταστοιχείωση)

- Αρχικοί πυρήνες : μητρικοί
- Παραγόμενοι πυρήνες : θυγατρικοί.

- *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*

Χρόνοι ζωής

- Στατιστικό φαινόμενο
- Αν έχουμε N ραδιενεργούς πυρήνες, δεν γνωρίζουμε ποιοί ακριβώς θα διασπαστούν.
- σταθερά διάσπασης λ πιθανότητα διάσπασης /μονάδα χρόνου (χαρακτηριστικό του νουκλιδίου)

$dN = N(t+dt) - N(t) = -N\lambda\, dt \quad \Rightarrow \;........\; \Rightarrow N(t) = N_0 exp(-\lambda t)$

χρόνος ημιζωής

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

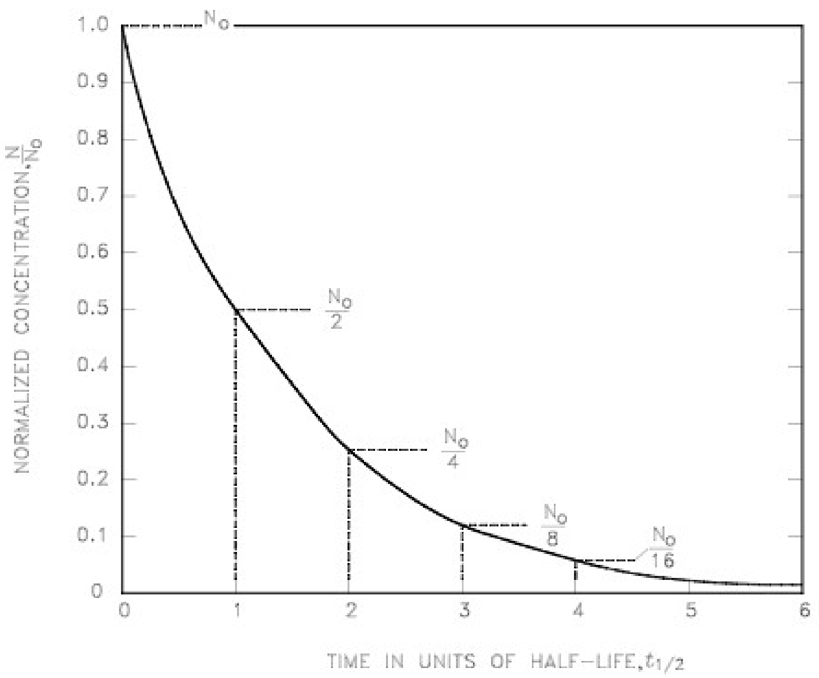
μέσος χρόνος ζωής $\tau = \frac{1}{l}$

$$t = \frac{t_1 N_1 + t_2 N_2 \ldots}{N_1 + N_2 + \ldots} = \frac{\int_0^{infinite} tN(t)\,dt}{\int_0^{infinite} N(t)\,dt} = \frac{N_0 \int_0^{infinite} te^{-\lambda t}\,dt}{N_0 \int_0^{infinite} e^{-\lambda t}\,dt} = \frac{\lambda^{-2}}{\lambda^{-1}} = \frac{1}{\lambda}$$

Χρόνοι ζωής και ενεργότητα δείγματος

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

Χρόνος για την πλήρη διάσπαση δείγματος ~ ∞



Ενεργότητα = διασπάσεις /μονάδα χρόνου

$$A(t) = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Η ενεργότητα δείγματος μειώνεται εκθετικά με το χρόνο

Ραδιοχρονολόγηση 14C

Το ισότοπο ^{14}C παράγεται απο την αλληλεπίδραση της κοσμικής με το άζωτο ^{14}N της ατμόσφαιρας

$$^{14}\mathrm{N}^{7} + n \longrightarrow {}^{14}\mathrm{C}^{6} + p.$$

$$^{14}\mathrm{C}^{6} \longrightarrow {}^{14}\mathrm{N}^{7} + e^{-} + \overline{\nu}_{e}.$$

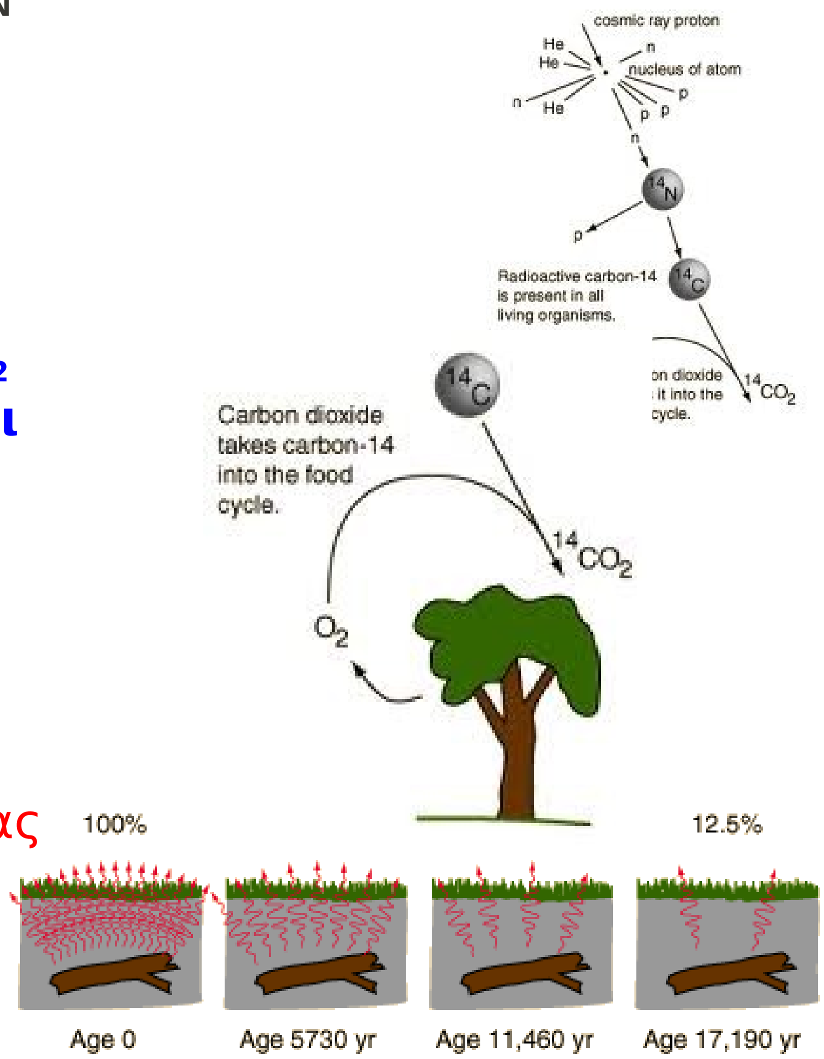
β^- ραδιενεργό

$T_{1/2}$ = 5730 χρόνια.

Ζωντανοί οργανισμοί καταναλώνουν CO_2 το οποίο περιέχει τα ισότοπα του ^{12}C και ^{14}C.

Μετά το τέλος της ζωής του οργανισμού παύει η πρόσληψη ^{14}C και συνεχίζεται μόνο η διάσπασή του.

Χρονολόγηση με τη σύγκριση της ενεργότητας του ^{14}C στο δείγμα τώρα, σε σχέση με την ενεργότητα του ^{14}C σε ζωντανό οργανισμό.



Άσκηση 8: Χρόνος ζωής

Έχουμε $N_0 = 10^{25}$ πυρήνες ^{238}U σε ένα δείγμα.

α) Πόσοι πυρήνες παραμένουν στο δείγμα αυτό μετά από 100 εκατομύρια (10^8) χρόνια αν η σταθερά διάσπασηςτου ^{238}U είναι $1.5 * 10^{-10}$ y^{-1}?

β) Πόσος είναι ο χρόνος ημίσειας ζωής του ^{238}U ?

Άσκηση 9: Χρόνοι ζωής- Ενεργότητα

Ποια η ενεργότητα 1g ^{226}Ra ?

$t_{1/2}$=1670y ≈ $1.6x10^{3}$ x $3.1x10^{7}$ s ≈ $5x10^{10}$s

λ= 0.693/$5x10^{10}$ ≈ $1.4x10^{-11}$ /s

1g περιέχει N_o≈$6x10^{23}$/226 ≈ $2.7x10^{21}$ πυρήνες

η ενεργότητα t=0 A(t=0)=λN_0≈ $1.4x10^{-11}$x$2.7x10^{21}$ /s ≈ $3.7x10^{10}$ διασπ./s

Μονάδες ενεργότητας

Curie	1Ci = 3.7 10^{10} διασπ./s
Becquerel	1Bq = 1 διασπ./s

Άσκηση 10: Χρόνος ζωής - ραδιοχρονολόγηση

Στη σπηλιά Shanidar στο βόρειο Ιράκ, κατά τις ανασκαφές βρέθηκαν βέλη, εργαλεία, κόκαλα και κάρβουνο. Όταν εξετάστηκε το κάρβουνο παρατηρήθηκαν ~ $9.4 * 10^2$ διασπάσεις ^{14}C το δευτερόλεπτο, για κάθε κιλό κάρβουνου. Είναι γνωστό ότι 1 kg άνθρακα σε έναν ζωντανό οργανισμό δίνει $1.5 * 10^4$ διασπάσεις ^{14}C το δευτερόλεπτο.

Πρίν πόσα χρόνια κατοικούταν αυτή η σπηλιά από προϊστορικούς ανθρώπους?

Δίνεται: $t_{1/2}$ = 5730 χρόνια (→ άρα ο χρόνος ζωής τ, πόσος είναι?)

Απάντηση: κοιτάξτε σελ. 21 ότι η ενεργότητα μείωνεται εκθετικά με το χρόνο. Επίσης, τα σχετικά με τη ραδιοχρονολόγηση σελ. 22, και την επόμενη άσκηση (11). Έτσι έχουμε: Τώρα $A(t) = 9.4 * 10^2$ διασπάσεις/sec, ενώ όταν πέθανε ο οργανισμός είχαμε $A(0) = 1.5 * 10^4$ διασπάσεις /sec

$A(t) = A(0) * e^{-t/\tau}$ → t = … = **23 χιλιάδες χρόνια πριν**.

Άσκηση 11: Χρόνος ζωής - ραδιοχρονολόγηση

Ενας πάπυρος από Αιγυπτιακό τάφο περιέχει 1g άνθρακα με ενεργότητα 4×10^{-12} Ci. Αν ο λόγος των πυρήνων $^{14}C/^{12}C$ σε ένα ζωντανό δένδρο είναι 1.3×10^{-12} να βρεθεί η ηλικία του παπύρου.
(Χρ. ημιζωής ^{14}C=5730 y)

Προσοχή στις μονάδες!

$t_{1/2}=5730\ y \approx 5730 \times 3.1\times10^{7}\ s \approx 17.8\times10^{10} s$

$\lambda= 0.693/17.8\times10^{10} \approx 3.9\times10^{-12}\ /s$

1g περιέχει $6\times10^{23}/12 = 5\times10^{22}$ πυρήνες C και $N_o=5\times10^{22}\times1.3\times10^{-12}\approx 6.5\times10^{10}$ πυρήνες ^{14}C

η ενεργότητα $A= 4\times10^{-12}\times3.7\times10^{10}=1.5\times10^{-1}$ διασπ./s

$A=\lambda N_0 e^{-\lambda t}$ => .....$t=1.39\times10^{11}s=$ 4483y